

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Avaliação da precipitação estimada por satélites: O caso de estudo de
Cabo Verde**

Nataniel Varela Garcia

Dissertação orientada
pelo Professor Doutor Marcelo Henrique Carapito Martinho Fragoso

Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Avaliação da precipitação estimada por satélites: O caso de estudo de
Cabo Verde**

Nataniel Varela Garcia

Dissertação orientada
pelo Professor Doutor Marcelo Henrique Carapito Martinho Fragoso

Júri:

Presidente: Professora Doutora Carla Andreia da Silva Mora do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

Vogais:

- Professor Doutor José Alexandre Varanda Andrade do Departamento de Geociências da Universidade de Évora e Investigador do MED, Instituto Mediterrâneo para a Agricultura, Ambiente e Desenvolvimento
- Professor Doutor Marcelo Henrique Carapito Martinho Fragoso do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

Regresso

Mamãe Velha, venha ouvir comigo
o bater da chuva lá no seu portão.

É um bater de amigo
que vibra dentro do meu coração.

A chuva amiga, Mamãe Velha, a chuva,
que há tanto tempo não batia assim...

Ouvi dizer que a Cidade-Velha,
— a ilha toda —

Em poucos dias já virou jardim...

Dizem que o campo se cobriu de verde,
da cor mais bela, porque é a cor da esperança.

Que a terra, agora, é mesmo Cabo Verde.

— É a tempestade que virou bonança...

Venha comigo, Mamãe Velha, venha,
recobre a força e chegue-se ao portão.

A chuva amiga já falou mantenha
e bate dentro do meu coração!

Amílcar Cabral

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus pela dádiva da vida, força e coragem para superar os obstáculos.

Ao meu orientador, Professor Doutor Marcelo Fragoso, por ter abraçado este projeto de investigação, apresentando total disponibilidade, presencialmente e através das diferentes vias de comunicação, com os seus conselhos, sugestões, incentivos, correções em todas as fases da realização deste trabalho que contribuíram para a realização do mesmo.

À minha família pelo apoio incondicional, especialmente a minha querida irmã, Jacinta Garcia e a minha avó Constantina Garcia, que sempre acreditaram em mim, investindo na minha formação, sempre me incentivando a não desistir. Aos meus primos, Maria Alice Tavares, Wilson Tavares e Carina Garcia, pela disponibilidade e ajuda na revisão do texto.

À minha namorada, Tânia Fidalgo, companheira de longos anos, pela paciência, compreensão e incentivo ao longo deste longo percurso.

Ao Celestino, meu grande amigo, pela disponibilidade e ajuda na aquisição dos dados pluviométricos, de suma importância para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas do mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, pelos momentos de companheirismo e de amizade partilhados ao longo dos últimos dois ou cinco anos, no caso de alguns.

Às instituições das quais usufruí da utilização dos seus dados para esta investigação. O INMG, delegação da Praia, que me facultou os dados diários da precipitação observada, de modo a conseguir dados suficientes e sem lacunas para a realização da dissertação, e à NASA que gratuitamente disponibilizou os dados da precipitação estimada.

Aos meus empregadores, que sempre me facultaram o horário laboral de modo a conseguir conciliar com os estudos de pós-graduação.

À Direção-Geral de Ensino Superior, pela bolsa de estudos, um auxílio financeiro que possibilitou me dedicar maior tempo à investigação.

Ao Instituto de Geografia e Ordenamento do Território e a todos professores que contribuíram para a minha formação e o meu amadurecimento académico durante a licenciatura e o mestrado.

Resumo

A utilização da precipitação estimada pelo algoritmo *Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM* (IMERG) é recente, com menos de uma década, envolvendo já algumas dezenas de pesquisas realizadas por autores estrangeiros em várias regiões do globo. Para o arquipélago de Cabo Verde não foi feita ainda nenhuma investigação neste domínio, daí a importância de realizar uma primeira avaliação do potencial de utilização destes dados. Esta investigação tem como objetivo principal avaliar a qualidade da precipitação estimada por satélites, tendo sido utilizados dados da precipitação observada (cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica - INMG) e estimada (disponibilizados pela *National Aeronautics and Space Administration* - NASA), efetuando uma validação e comparação com dados estimados na resolução espacial de $0,1^\circ$ e $0,2^\circ$ (latitude x longitude) e no período de estudo (2014-2018, escalas anual, mensal e diária), usando as seguintes métricas estatísticas: Erro médio, *Kling-Gupta Efficiency* (KGE), *Heidke Skill Score* (HSS) e gráficos de dispersão.

Aplicadas as métricas para a avaliação da qualidade da precipitação estimada, verificou-se que os dados com resolução temporal mais grosseira (anuais, mensais) permitem obter melhores resultados, com erros menores. Assim, os dados anuais, comparativamente aos dados mensais, apresentaram erros menores, e do mesmo modo se constatou com os dados mensais em relação aos diários.

O estudo mostrou que o algoritmo IMERG, quando utilizado para calcular o total da precipitação recebida num período, quer anualmente, quer mensalmente, é eficaz, apresentando resultados bastante satisfatórios, com valores da precipitação estimada perto do valor real da precipitação observada. Em contrapartida, quando o algoritmo IMERG é usado para a estimação de um evento chuvoso diário, a percentagem de acerto é baixa.

Palavras-chave: GPM, IMERG, estação das chuvas, precipitação estimada, Cabo Verde.

Abstract

The use of precipitation estimated by the product “Integrated **M**ulti-satellit**E** Retrievals for **G**PM (IMERG)” is recent, with less than a decade, already involving some dozens of researches carried out by foreign authors in several regions of the globe. For the Cape Verde archipelago, no research has yet been carried out in this research topic, hence the importance of performing a first assessment of the potential use of these data. This main objective of this investigation is to evaluate the quality of precipitation estimated by satellites, by comparing data of observed precipitation (provided by the Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica - INMG) and estimated rainfall (provided by the National Aeronautics and Space Administration - NASA), carrying out a validation analysis on the 0.1 ° and 0.2 ° spatial resolution and for the study period 2014-2018, (annual, monthly and daily timescales), using the following statistical metrics: Mean error, Kling–Gupta Efficiency (KGE), Heidke Skill Score (HSS) and scatterplots.

It was possible to conclude that there was a predominant overestimation of precipitation by satellites (IMERG product) in the archipelago, during the study period 2014-2018. Applying the metrics for assessing the quality of the estimated precipitation, it was found that the coarser data (i.e. larger timescale) allows to obtain better results, with smaller errors. Thus, the annual data, compared to monthly data, resulted in minor errors, much like the monthly data in relation to the daily ones.

The study showed that the IMERG algorithm, regarding estimations of annual or monthly precipitation, correspond to amounts close to the actual observed rainfall. In contrast, when the IMERG algorithm is used to estimate daily rainfall events, the percentage of satisfactory/acceptable estimations is considerably lower.

Key-Words: GPM, IMERG, rainy season, estimated precipitation, Cape Verde.

Índice

Agradecimentos.....	I
Resumo	III
Abstract	IV
Índice de Figuras.....	VII
Índice de Quadros.....	X
Siglas e acrónimos	XI
1. Introdução	1
2. Enquadramento geográfico.....	5
3. Enquadramento temático.....	8
3.1. Características climáticas gerais de Cabo Verde	8
3.2. Incidência de Precipitação extrema no arquipélago e seus impactos no território.....	10
3.3. Precipitação estimada por satélite.....	12
3.3.1. Programa TRMM.....	12
3.3.2. Programa GPM e produtos IMERG	14
3.3.3. Revisão de literatura sobre estudos usando precipitação estimada por satélite.....	17
4. Métodos e técnicas.....	20
4.1. Dados utilizados e fontes de informação. Recolha, verificação e validação dos dados.....	20
4.1.1. Precipitação observada.....	20
4.1.2. Precipitação estimada.....	22
4.2. Métodos e técnicas no tratamento da informação	23
4.2.1. Métodos de comparação entre valores de precipitação estimados e observados.....	23
4.3. Programas informáticos utilizados no tratamento dos dados.....	27
4.4. Outras considerações metodológicas	28
5. Resultados e discussão	30
5.1. Caracterização da precipitação observada (2014-2018)	30
5.1.1. Variabilidade interanual	30
5.1.2. Regime médio anual	35
5.1.3. Precipitações diárias	49

5.2. Avaliação da qualidade da precipitação estimada IMERG (2014-2018)	54
5.2.1 Precipitações anuais (comparação observações/estimções)	60
5.2.2. Precipitações mensais (comparação observações/estimções)	61
5.2.3. Precipitações diárias (comparação observações/estimções)	69
5.3. Discussão dos resultados	77
6. Conclusão.....	81
7. Bibliografia.....	83

Índice de Figuras

Figura 1: Localização da área de estudo, arquipélago de Cabo Verde.	7
Figura 2: Os sensores utilizados no TRMM.	14
Figura 3: Constelação de Satélites da Missão Espacial GPM.	15
Figura 4: Sistema de dados e comunicação das operações da missão GPM.	17
Figura 5: Localização das nove estações meteorológicas usadas para a investigação, distribuídas pelas ilhas de São Vicente, Sal, Boa Vista, Maio, Santiago e Fogo.	21
Figura 6: Precipitação média anual observada nas nove estações em estudo, no período	30
Figura 7: Variação anual da precipitação média observada no arquipélago, no período 2014-2018.	32
Figura 8: Precipitação total observada nas nove estações em estudo, no ano 2014....	32
Figura 9: Precipitação total observada nas nove estações em estudo, no ano 2015....	33
Figura 10: Precipitação total observada nas nove estações em estudo, no ano 2016..	33
Figura 11: Precipitação total observada nas nove estações em estudo, no ano 2017..	34
Figura 12: Precipitação total observada nas nove estações em estudo, no ano 2018..	34
Figura 13: Comportamento da precipitação média observada ao longo do ano, no arquipélago, para o período 2014-2018.	35
Figura 14: Precipitação média mensal observada nas nove estações em estudo, no período 2014-2018.	37
Figura 15: Precipitação mensal observada na estação de Mindelo, no período 2014-2018.	38
Figura 16: Precipitação mensal observada na estação de Aeroporto do Sal, no período 2014-2018.	40
Figura 17: Precipitação mensal observada na estação de Rabil, no período 2014-2018.	41
Figura 18: Precipitação mensal observada para estação de Vila do Maio, no período 2014-2018.	42
Figura 19: Precipitação mensal observada na estação de Aeroporto da Praia, no período 2014-2018.	44
Figura 20: Comportamento interanual da Precipitação mensal observada para estação de São Francisco, no período 2014-2018.	45
Figura 21: Precipitação mensal observada na estação de São Domingos, no período 2014-2018.	46

Figura 22: Precipitação mensal observada na estação de São Jorge dos Órgãos, no período 2014-2018.	48
Figura 23: Precipitação mensal observada na estação de São Filipe, no período 2014-2018.	49
Figura 24: Número médio anual de dias com precipitação em cada estação, no período 2014-2018.	53
Figura 25: Precipitação média anual estimada GPM-IMERG no período 2014-2018.	56
Figura 26: Precipitação total estimada GPM-IMERG no ano 2014.	56
Figura 27: Precipitação total estimada GPM-IMERG no ano 2015.	57
Figura 28: Precipitação total estimada GPM-IMERG no ano 2016.	57
Figura 29: Precipitação total estimada GPM-IMERG no ano 2017.	58
Figura 30: Precipitação total estimada GPM-IMERG no ano 2018.	58
Figura 31: Variação anual da precipitação média observada e estimada (GPM-IMERG) no arquipélago no período 2014-2018.	59
Figura 32: Comportamento da precipitação média observada e estimada (GPM-IMERG) ao longo do ano, no arquipélago, para o período 2014-2018.	59
Figura 33: Erro médio anual da precipitação estimada (GPM-IMERG) no arquipélago, no período 2014-2018.	61
Figura 34: Erro médio mensal da precipitação estimada (GPM-IMERG) no arquipélago, no período 2014-2018.	62
Figura 35: Kling–Gupta Efficiency (KGE) e os índices necessários para a sua obtenção (Pearson, viés e rácio de variabilidade) mensal, para cada estação, no período 2014-2018.	65
Figura 36: Dispersão dos valores mensais de precipitação observada e estimada, para cada estação, no período 2014-2018.	67
Figura 37: Dispersão dos valores mensais da precipitação observada e estimada, para cada estação, no período 2014-2018.	68
Figura 38: Erro médio da precipitação diária estimada, em cada estação, no período 2014-2018.	70
Figura 39: Kling–Gupta Efficiency (KGE) e os índices necessários para a sua obtenção (Pearson, viés e rácio de variabilidade) em relação à precipitação diária estimada, em cada estação, no período 2014-2018.	72
Figura 40: Heidke Skill Score (HSS) da precipitação estimada diária em cada estação, no período 2014-2018.	74
Figura 41: Dispersão dos valores de diários da precipitação observada e estimada, para cada estação, no período 2014-2018.	75

Figura 42: Dispersão diária da precipitação observada e estimada para cada estação no período 2014-2018.	76
Figura 43: Variação interanual da precipitação observada e estimada para cada estação no período 2014-2018.	80

Índice de Quadros

Quadro 1: Normais Climatológicas no período 1981-2010 para as estações de Mindelo, do Aeroporto do Sal e do Aeroporto da Praia.....	10
Quadro 2: Vários estudos realizados sobre algoritmo GPM-IMERG, de regiões diferentes do planeta, a várias resoluções temporais e espaciais.	19
Quadro 3: Coordenadas geográficas e altitude das estações (observações e estimações) estudadas.	20
Quadro 4: Tabela de contingência para definição de HSS.	26
Quadro 5: Classificação de eventos da precipitação diária.	29
Quadro 6: Precipitação máxima diária em cada ano e estação no período de estudo 2014-2018.....	52
Quadro 7: Classificação da precipitação diária para cada estação no período de estudo 2014-2018.....	53
Quadro 8: Duração e número de sequências chuvosas para cada estação no período 2014-2018.....	54
Quadro 9: Percentagem de acertos nas estimativas de precipitação diária (dias com ocorrência simultânea de precipitação observada e estimada) no arquipélago, no período 2014-2018, por classes de abundância de chuva.	77

Siglas e acrónimos

CIT - Convergência Inter-Tropical

DGA - Direção Geral do Ambiente

DISC - *Data and Information Services Center*

GES - *Goddard Earth Sciences*

GPM - *Global Precipitation Measurement*

HSS - *Heidke Skill Score*

IMERG - *Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM*

INE - Instituto Nacional de Estatística

INMG - Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica

JAXA - *Japan Aerospace Exploration Agency*

KGE - *Kling–Gupta Efficiency*

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*

mm - Milímetro

TIROS - *Television and Infrared Observation Satellite*

TRMM - *Tropical Rainfall Measuring Mission*

ZCIT - Zona de Convergência Inter-Tropical

1. Introdução

Existem diversas maneiras de quantificar a precipitação, sendo as mais usadas através de pluviômetros, radares meteorológicos terrestres e sensores de satélite (Li *et al.*, 2017). A estimativa de variáveis atmosféricas por satélite não é recente, considerando que foi já em 1960 que entrou em funcionamento o primeiro satélite meteorológico, o TIROS-1 (*Television and Infrared Observation Satellite*), segundo Collischonn *et al.*, (2006). Houve evolução e melhorias com o passar do tempo, e até à chegada do programa TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) em 1997, segundo Kummerow *et al.* (2000), a estimativa da precipitação nos trópicos era ainda muito incerta, com algoritmos que não forneciam resultados aceitáveis.

Atualmente, os dados de precipitação estimada por satélite permitem uma monitorização da chuva com boas resoluções espaciais e temporais, o que é muito importante para melhorar o conhecimento dos padrões pluviométricos em territórios insulares com insuficiente cobertura pelas redes de observação meteorológica. No caso de Cabo Verde, dada a escassez ou inexistência de estações meteorológicas em muitas partes do arquipélago, a utilização de dados de precipitação estimados por satélite poderá ser uma solução alternativa, sendo fundamental avaliar a qualidade e fiabilidade dessas estimativas, necessidade que constituiu a grande motivação para a realização desta investigação. Os estudos baseados na utilização de valores de precipitação estimada por algoritmos de processamento de medições de satélite vêm ganhando espaço e um interesse crescente ao longo dos últimos anos, com a melhoria das tecnologias de deteção remota, proporcionando a disponibilização de informação com resoluções temporais e espaciais menos grosseiras. Tendo em atenção a atual disponibilidade e diversidade de produtos de estimação da precipitação obtidos por meio de sensores instalados em satélites, foi escolhido para objeto de estudo nesta dissertação o produto *Integrated Multi-satellite Retrievals for Global Precipitation Measurement* (IMERG), visando testar a sua utilidade e validar a precipitação estimada com dados observados em estações convencionais, num período de cinco anos, mais precisamente, de março de 2014 a dezembro de 2018.

Existem muitos trabalhos sobre o clima de Cabo Verde que abordam a precipitação no arquipélago, podendo citar-se autores como Lima (2012); Monteiro & Cunha (2011); Amaral (2007); Correia (1993). Até ao momento são ainda inexistentes, em Cabo Verde, estudos que explorem a precipitação estimada por satélites, pretendendo-se, com o presente trabalho, dar um contributo científico para a avaliação da qualidade e utilidade potencial deste tipo de informação. A precipitação, é um dos principais elementos climáticos que atua sobre as culturas agrícolas e, certamente, aquele que condiciona de modo mais decisivo o seu rendimento e que, pela sua escassez e irregularidade, está na origem das maiores variações da produção agrícola caboverdiana (Correia, 1998a). Na mesma linha de pensamento, Amaral (2007, p. 39) referindo-se à irregularidade da precipitação descreve, *“a um ano de boas chuvas pode suceder um ano muito seco e num determinado mês o valor da precipitação pode variar de simples ao triplo”*.)

Autores relevantes no estudo de precipitação e clima de Cabo Verde como Amaral (2007), Santos (2016) e Correia (1998a) não chegaram a um consenso sobre a definição da estação chuvosa, divergindo nos meses classificados como pertencentes à estação chuvosa propriamente dita e dos meses com carácter de transição. Assim, para o conjunto do arquipélago, nesta investigação, a estação chuvosa corresponde a cinco meses - julho a novembro -, sendo o primeiro e o último dos meses deste período considerados meses de transição.

Amaral (2007) refere que algumas épocas chuvosas escapam a este padrão, podendo não chover em julho e/ou novembro, mas ocorrendo sempre precipitação nos meses de agosto, setembro e outubro, que repartem mais de 90% da precipitação registada. Em algumas estações chuvosas pode ocorrer precipitação em dezembro (Santos, 2016). De ano para ano, pode haver uma diferença enorme no volume da precipitação, ou mesmo, como Amaral (2007, p.39) refere, por vezes, duas áreas vizinhas com características geográficas semelhantes podem receber quantidades de precipitação distintas ou suceder ainda *“chover no mar, sem que uma gota de água venha dessedentar a terra seca”*. Apesar da proximidade entre as ilhas, as precipitações que ocorrem no arquipélago beneficiam mais as ilhas montanhosas (Fogo, Santiago, Brava, Santo Antão e São Nicolau), o que confirma a importância do relevo (INMG, 2007; Martins, 2017).

O objetivo geral da presente dissertação consiste em avaliar a qualidade dos dados da estimaco da precipitação em Cabo Verde do produto GPM-IMERG, verificando a sua confiabilidade em relação aos dados observados em estaes pluviométricas convencionais (para o período março de 2014 a dezembro de 2018). Relativamente aos seus objetivos específicos, a dissertação visa atingir os seguintes propósitos:

- Avaliar o potencial de utilização das estimativas da precipitação oriundas de satélites, com dados de observação, avaliando o erro dessas mesmas estimativas;
- Avaliar a distribuição espacial da precipitação (anual e mensal), tendo em conta os dados estimados e observados;
- Verificar se o grau da confiabilidade dos dados estimados é semelhante para os casos de precipitação fraca, moderada, forte e extrema;
- Verificar se o relevo das diferentes ilhas tem influência na qualidade das estimativas da precipitação feitas por satélite.

No tocante ¢ sua estruturação, este trabalho está organizado em sete capítulos. No primeiro capítulo (Introdução)  feita uma breve caracterização da precipitação em Cabo Verde, sendo ainda apresentada a motivação para desenvolvimento do trabalho e os seus objetivos gerais e específicos.

O segundo capítulo é referente ao enquadramento geográfico da ¢rea de estudo, nomeadamente no que se refere ao seu clima, demografia e atividades econmicas.

No terceiro capítulo aborda-se o enquadramento temático (estado da arte), onde se fará uma breve síntese do regime e distribuição temporal e espacial da precipitação em Cabo Verde.  também feita uma breve compilação dos estudos internacionais em que, em diferentes regies do mundo, se procede ¢ avaliação da qualidade das estimações da precipitação por satélites.

O quarto capítulo centra-se na exposição dos materiais e métodos, procedendo-se ¢ caracterização detalhada dos dados explorados, quer de observação (Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica de Cabo Verde), quer de estimação, (GPM-IMERG), assim

como das metodologias aplicadas e recursos informáticos utilizados no tratamento da informação.

No quinto capítulo são apresentados e discutidos os resultados, não só respeitantes à avaliação da qualidade das estimações, mas igualmente confrontando os resultados com os de estudos similares levados a cabo noutras áreas geográficas.

O sexto capítulo inclui a conclusão, indicando se os resultados do estudo demonstram se os objetivos foram alcançados, referindo também as diversas limitações inerentes à investigação efetuada, e terminando com possíveis linhas futuras de prossecução e desenvolvimento do trabalho.

O sétimo capítulo é destinado à bibliografia.

2. Enquadramento geográfico

O arquipélago de Cabo Verde localiza-se no oceano Atlântico, entre as latitudes 14° e 17° N, e as longitudes 22° a 26° W, a 570 km da costa ocidental africana. É um país insular, constituído por 10 ilhas e ilhéus de origem vulcânica, sendo que nove são habitadas e uma é desabitada, perfazendo uma área total de 4033 km² (**Figura 1**). O arquipélago situa-se no domínio dos ventos alísios do Hemisfério Norte, numa zona de clima árido e semiárido que atravessa a África desde o Atlântico ao mar Vermelho e se prolonga pela Ásia (Amaral, 2007).

Conforme a exposição aos ventos dominantes, as ilhas são divididas em dois grupos: **Barlavento** (Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia (não habitada), São Nicolau, Sal e Boa Vista) e **Sotavento** (Maio, Santiago, Fogo e Brava). O arquipélago inclui ainda um pouco mais de uma dezena de ilhéus.

O arquipélago caboverdiano, segundo Lima (2012, p. 27), *“é caracterizado por um relevo diversificado de ilha para ilha, as mais montanhosas e com maiores altitudes são a ilha do Fogo (2829 m), ilha de Santo Antão (1979 m), ilha de Santiago (1392 m) e ilha de São Nicolau (1304 m)”*. Amaral (2007), descrevendo a posição do arquipélago, localiza-o na extensa faixa entre os centros de altas pressões subtropicais do Atlântico do Norte e a linha de convergência intertropical, sofrendo a influência de diversos sistemas atmosféricos. O INMG (2007, p. 7), nomeando os fatores dinâmicos do clima em Cabo Verde, refere a *“banda de atividade convectiva da Zona de Convergência Inter-Tropical (ZCIT), as ondas de leste, a ação dos alísios de NE (massas de ar emanadas pelo anticiclone subtropical), as depressões e os ciclones tropicais, que, conjuntamente à ação regional do relevo das ilhas, determinam o tipo de circulação”*.

Segundo Amaral (2007), no seu movimento anual, a CIT ocupa a sua posição extrema meridional nos meses de janeiro e fevereiro, e alcança a máxima proximidade de Cabo Verde em finais de agosto, princípios de setembro. *“O movimento da CIT (Convergência Inter-Tropical) não é contínuo; em dois ou três dias pode deslocar-se num sentido e recuar depois e dissipar-se, para voltar a aparecer mais perto da sua posição média estacional (Amaral, 2007, p. 51)”*. Por outro lado, podem acontecer *“anos em que a CIT, nas suas migrações para Norte, se demore pouco tempo na área do arquipélago, ou não*

chega mesmo a atingi-lo, correspondem às grandes crises de produção, pela escassez das chuvas necessárias para o desenvolvimento das plantas” (Amaral, 2007, p. 50). A passagem das ondas de leste pelo arquipélago, segundo o INMG (2007, p. 9), *“ocorre entre julho e outubro, que, dependendo da sua intensidade, podem ser ou não acompanhadas de precipitação”*.

No que diz respeito à demografia, o povoamento do arquipélago teve o início em 1462, na ilha de Santiago. Desde o começo do povoamento até 1800 a população cresceu lentamente, não ultrapassando os 50 mil habitantes nessa data (DGA, 2004). De acordo com o recenseamento geral da população em 2010, a população de Cabo Verde era de 491575 habitantes (no ano 2000 era de 434625 habitantes), com cerca de 50% para ambos os sexos (masculino e feminino), e notando-se já uma grande disparidade entre os dois meios de residência, com 62% da população vivendo no meio urbano, contra 38% no meio rural. (INE, 2010).

Mais da metade da população caboverdiana vive na ilha de Santiago (55,7%), seguida pelas ilhas de São Vicente (15,5%), Santo Antão (8,9%), Fogo (7,5%), Sal (5,2%), enquanto as restantes quatro ilhas (povoadas) representam menos de 8% da população (INE, 2010). Na repartição por grupos etários, 31,7% pertence à classe [0, 14[anos, 61,9 % pertence à classe [14, 64] e 6,4% pertence à classe ≥65 anos (INE, 2010).

INMG (2007) aponta que cerca de 80% da população habita no litoral, onde se concentra grande parte das infraestruturas do território. DGA (2004) sublinha que as zonas costeiras têm um papel muito importante no processo de desenvolvimento de atividades ligadas ao turismo (sol e praia).

Apesar da escassez de água, a agricultura constitui a base da economia de Cabo Verde que, segundo DGA (2004), apesar não ser considerada um setor prioritário do desenvolvimento económico, a agricultura e a pecuária continuam a empregar uma vasta camada da população, embora, em grande parte num regime de subsistência. Ainda DGA (2004) refere que, tanto a agricultura de sequeiro como a irrigada, dependem totalmente de regime de chuvas, e Correia (1998a) afirma que o milho é a principal cultura em Cabo Verde, ocupando 97% da superfície cultivada, em regime sequeiro, na ilha de Santiago.

A pesca, segundo DGA (2004), é uma das poucas atividades económicas baseadas nos recursos naturais que fornece produtos de qualidade para exportação, ainda que em pequena escala, sendo que Cabo Verde é um país ecologicamente frágil e de fracos recursos naturais que possam contribuir para o desenvolvimento de atividades industriais.

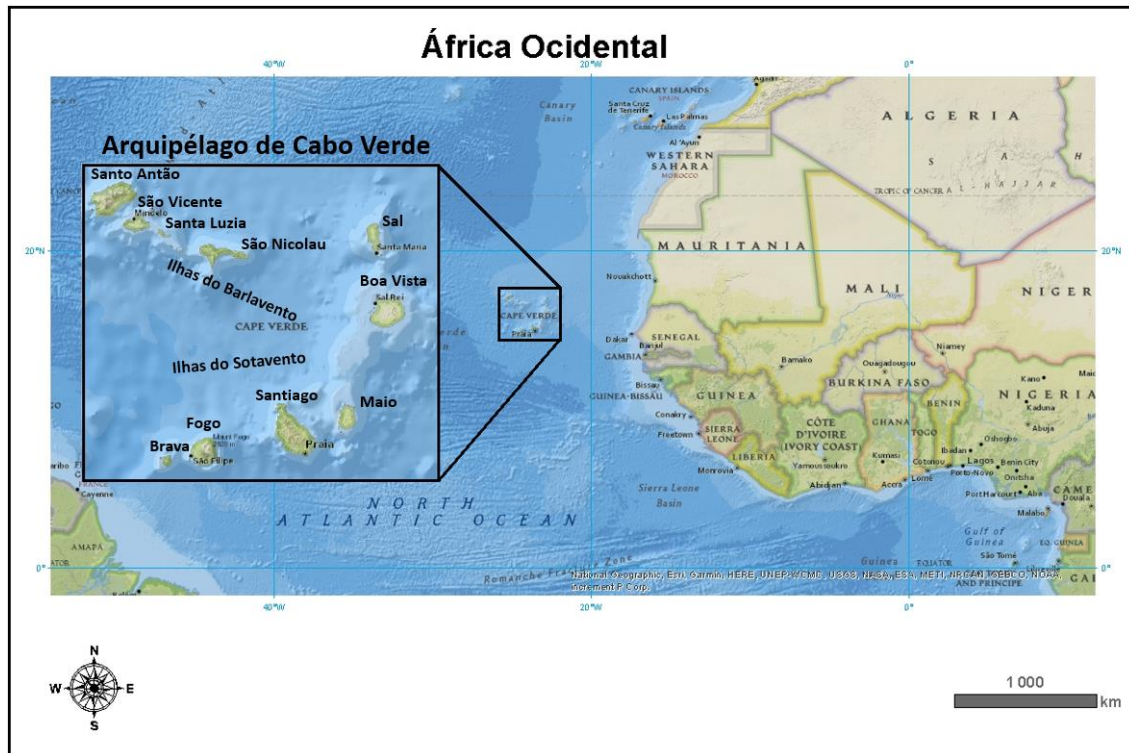


Figura 1: Localização da área de estudo, arquipélago de Cabo Verde. **Fonte:** Adaptação do BaseMaps (ArcGIS). Elaboração própria.

3. Enquadramento temático

3.1. Características climáticas gerais de Cabo Verde

O INMG (2019) disponibiliza no seu site oficial as normais climatológicas do período 1981-2010, de três estações de Cabo Verde, com as variáveis precipitação, temperatura e humidade relativa, como se pode observar no **Quadro 1**. No que diz respeito à temperatura, segundo INMG (2007) a média mensal varia entre 20°C e 26°C, podendo as temperaturas máximas ultrapassar os 32°C nas zonas áridas do litoral. No que diz respeito à temperatura média mensal, os valores são semelhantes nas três estações (ver **Quadro 1**), registando-se baixas amplitudes térmicas em todos os meses. Os valores da humidade relativa variam entre 60 e 80%, sendo mais elevados nos meses chuvosos.

O período de julho a outubro coincide com a intensificação e aproximação da ZCIT em relação à região de Cabo Verde (INMG, 2007; Lima, 2012), sendo que Amaral (2007) afirma que o movimento da CIT não é contínuo e, na sua migração, a sua “paragem” sobre a área do arquipélago é de extrema importância para que haja precipitação.

Verifica-se que, em qualquer uma das estações, os meses de agosto, setembro e outubro são os que concentram a maior parte da precipitação, enquanto o mês de julho corresponde ao mês de transição de época seca para a época chuvosa. Em Santiago, mais de 75% da precipitação anual ocorre em agosto e setembro (Ventura, 2009). Novembro estabelece a transição da estação chuvosa para a seca. Este ritmo pluviométrico é determinante para o calendário agrícola, e em particular para a cultura do milho, conforme mostrou Correia (1998b). Este autor realça que *“em Cabo Verde a sementeira é feita, geralmente, antes das primeiras chuvas. Desse modo, continuando o mês de julho a marcar a transição da estação seca para a das chuvas, para a cultura é decisiva a precipitação que ocorra em setembro e outubro, ou em outubro e novembro, no caso de se efetuarem ressementeiras”* (Correia, 1998b; p.49-61). O mesmo autor, referindo-se à irregularidade da precipitação na ilha de Santiago, destaca que ela é *“elevada em julho e principalmente a partir de outubro, sendo agosto e setembro os meses que possuem maior consistência, sem que isso signifique, contudo, estabilidade da probabilidade de ocorrência”* (Correia, 1998b; p.49-61).

Nesta ilha montanhosa (Santiago), segundo Nunes *et al.* (2012), a precipitação média anual pode exceder nalguns locais e com influência da altitude, os 600 mm, referindo como um dos exemplos, a Serra da Malagueta. Correia (1998a), num outro estudo, sublinha a importância da precipitação como fator climático condicionante de importância crucial para a cultura do milho.

Com um regime da precipitação marcado pela sua concentração num curto espaço de tempo (Amaral, 2007), os episódios de secas são frequentes no arquipélago. Os valores da precipitação anual variam de 71,2 mm na ilha do Sal a 172,5 mm, na ilha de Santiago, de acordo com as normais climatológicas 1981-2010 (INMG, 2019).

A forte variabilidade espaço-temporal das precipitações reflete-se no contraste das paisagens agrícolas de uma ilha para outra, condicionadas pela orografia e exposição aos ventos dominantes de Nordeste, que proporcionando micro-climas particulares (INMG, 2007); Neves *et al.* (2017) sublinharam que nem todas as ilhas do arquipélago têm o mesmo clima (classificação de Koppen), referindo que Maio, São Vicente, São Nicolau, Sal e Brava apresentam um clima árido (BWh), Santiago um clima semiárido (BSh) e árido (BWh), Fogo contém climas de tipos árido (BWh) a sub-húmido (Aw) e Santo Antão apresenta climas de árido (BWh) a tropical chuvoso (Aw) e Temperado chuvoso (Cw). Aliás, Amaral (2007) já salientara que todas as ilhas montanhosas apresentam contrastes no regime de chuvas, que pode variar da aridez no litoral às zonas húmidas das grandes altitudes; Assim a altitude (relevo) e a latitude das ilhas influenciam claramente a ocorrência da precipitação, conforme Rebelo (1999) mostrou, relativamente a um estudo nas ilhas de Santiago e São Vicente.

Quadro 1: Normais Climatológicas no período 1981-2010 para as estações de Mindelo, do Aeroporto do Sal e do Aeroporto da Praia. **Fonte:** Adaptado de INMG (2019).

	Mindelo			Aeroporto do Sal			Aeroporto da Praia		
	P	T	HR	P	T	HR	P	T	HR
Jan	4,8	21,9	66,1	6,7	21,5	69,0	3,1	22,9	65,7
Fev	1,7	21,6	67,6	2,3	21,2	70,9	0,6	22,9	63,3
Mar	0,4	22,0	67,2	1,3	21,5	70,9	0,3	23,6	62,6
Abr	0,4	22,2	68,2	0,7	22,0	70,6	0,0	23,9	64,5
Mai	0,0	22,8	70,1	0,5	22,6	73,3	0,5	24,7	65,2
Jun	0,0	23,8	72,9	0,0	23,6	75,4	0,0	25,5	68,5
Jul	2,6	25,0	72,7	1,2	24,8	75,5	8,0	26,1	73,3
Ago	16,3	26,2	74,0	13,9	26,2	75,9	60,4	27,1	76,0
Set	36,2	26,5	74,2	28,1	26,8	77,1	60,9	27,4	76,8
Out	14,5	26,0	72,8	11,0	26,1	74,7	31,0	27,2	72,9
Nov	6,3	25,0	69,4	2,1	24,6	72,9	2,7	26,1	69,8
Dez	1,0	23,3	67,3	3,4	22,8	71,1	5,0	24,1	70,1
Média anual	-	23,9	70,2	-	23,6	73,1	-	25,1	69,1
Total anual	84,2	-	-	71,2	-	-	172,5	-	-

P Média da precipitação total mensal/anual (mm)
T Média da temperatura do ar mensal/anual (°C)
HR Média da humidade relativa do ar mensal/anual (%)

3.2. Incidência de Precipitação extrema no arquipélago e seus impactos no território

Num território marcado pela escassez de água para assegurar todas as necessidades de consumo, a ocorrência da precipitação pode, no entanto, quando se regista num regime torrencial, constituir um fator de fenómenos erosivos e destruidores importantes. Segundo Lima (2012, p. 14), *“a frequência da precipitação excessiva é baixa, levando a população a não se preocupar com as cheias, e estas, quando ocorrem, constituem um fator surpresa, podendo as águas, à sua passagem, afetar leitos de cheia ocupados por casas, barracas, estradas e mesmo infraestruturas”*. Amaral (2007, pp. 39-40) afirma que *“o problema das chuvas está intimamente ligado ao grau de estabilidade (ou instabilidade) das massas de ar”* e que a *“brusquidão das chuvas e a sua violência,*

associadas à sua irregularidade, criam um contraste vigoroso com a monotonia dos outros elementos climáticos”.

Rebelo (1999) e Luz (2016) apontam que o remeximento de materiais nas vertentes, inclusive por efeito da construção em condições precárias, são vulnerabilidades que, em situação de chuvas intensas, podem desencadear deslizamentos, arrastando casas com pessoas e bens. Por seu turno, esses deslizamentos podem contribuir para o aumento da carga sólida das ribeiras e tornar as inundações ainda mais violentas. Também Lima (2012) frisou que as inundações em Cabo Verde não acontecem com muita frequência, mas quando acontecem, têm a capacidade de causar consequências graves, sobretudo para a população e para o Ambiente.

Num estudo feito por Monteiro & Cunha (2011) sobre as chuvas intensas na ilha de São Nicolau ocorridas em setembro de 2009, foi destacado o seu efeito catastrófico, onde os autores consideraram o relevo acidentado, a falta de vegetação e o tramo final da vertente com depósitos cascalhentos como ingredientes para o escoamento rápido, sendo essas chuvas intensas responsáveis por uma intensa erosão dos solos nas vertentes. Segundo estes autores, as chuvas intensas registadas em 16-18 de setembro de 2009 em São Nicolau prejudicaram fortemente o setor agrícola, tendo os agricultores perdido a quase totalidade das suas produções, que são, por vezes, os únicos meios de subsistência. As chuvas intensas associadas à CIT podem desencadear inundações rápidas que, nas áreas urbanas, podem ser severamente agravadas, devido a efeitos gerados pelas construções e pela impermeabilização dos solos (Monteiro & Cunha, 2011).

Em relação ao risco de ocorrência de chuvas intensas nas ilhas de Cabo Verde, Rebelo (1999) considerou que o risco existente na cidade da Praia (ilha de Santiago) é maior do que na cidade do Mindelo (São Vicente), quer devido à menor latitude, quer igualmente tendo em atenção o relevo mais montanhoso que caracteriza Santiago.

3.3. Precipitação estimada por satélite

Muitos autores, tais como Li *et al.* (2017), referem que a precipitação pode ser quantificada através de observações à superfície (por pluviômetros, disdrômetros, radares), estimações por satélites ou por modelação numérica. A medição em estações pluviométricas constitui o único meio direto e preciso de obter os dados. O uso dos dados de estimação, com boa confiabilidade, seria uma ajuda para os hidrólogos, principalmente em regiões com carência de estações convencionais, o que por vezes ocorre em áreas pouco habitadas, de difícil acesso, ou em países em desenvolvimento Gadêlha (2018).

O RADAR (**RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging) segundo Antonio (2007), designa o sistema de identificação e determinação da distância de um alvo, utilizando ondas eletromagnéticas. Essas ondas possuem entre 5 e 10 cm, possuindo forte potência e alta frequência em que a energia é concentrada num feixe fraco de abertura e dirigida por uma antena, sendo que para o radar meteorológico os alvos do feixe são as precipitações (Fragoso, 1996).

Numa comparação entre a TRMM (*Tropical Rainfall Measurement Mission*) e a GPM (*Global Precipitation Measurement Mission*), dois dos principais produtos frutos de estimação, Skofronick-Jackson *et al.* (2018) apontaram que a primeira tinha como o foco chuvas médias a fortes sobre os oceanos tropicais, enquanto a segunda fornece dados/produtos mais precisos de precipitação instantânea, particularmente da chuva fraca e precipitação sólida (neve), abrangendo também áreas além dos trópicos.

3.3.1. Programa TRMM

A **TRMM** é um programa global (multi-satélite) em parceria entre as agências espaciais americana (NASA) e japonesa (JAXA), lançado em 27 de novembro de 1997, (NASA, 2018; Kummerow *et al.*, 2000; Tan & Santo, 2018), projetado para ter uma vida útil de apenas 3 anos, e que acabou por produzir valiosos dados científicos por mais de 17 anos, tendo encerrado em abril de 2015 (NASA, 2018). O seu principal objetivo foi o de monitorizar a distribuição temporal e espacial das chuvas, dos sistemas convectivos e

das tempestades nos trópicos (NASA, 2018), tendo assegurado um registo de dados de alta qualidade e interrupto enquanto a missão durou (Grecu & Bolvin, 2018).

Passow (2010) afirma que o radar de precipitação da TRMM foi o primeiro instrumento espacial concebido para fornecer mapas tridimensionais da estrutura de uma tempestade e que o seu sensor de microondas tinha uma vantagem de proporcionar informações quantitativas para uma ampla área, que, segundo Kummerow *et al.* (2000) correspondia às áreas tropicais e subtropicais, com atualizações a cada 3 horas.

Segundo Anjos *et al.* (2017), o satélite tem cinco sensores a bordo (**Figura 2**): o *Visible Infrared Radiometer* (VIRS), *TRMM Microwave Imager* (TMI), *Precipitation Radar* (PR), *Lightning Imaging Sensor* (LIS) e o *Clouds and the Earth's Radiant Energy System* (CERES). Estes sensores alimentavam três tipos de produtos, sendo o mais importante, o produzido pelo algoritmo 3B43, que integrava dados processados a partir da combinação de informações recolhidas a partir de um radiómetro de infravermelhos e de um radiómetro de micro-ondas.

De acordo com Collischonn *et al.* (2006), o satélite possui órbita oblíqua não-heliossíncrona bastante baixa (inicialmente 350km, desde 2001 cerca de 403 km), pelo que o período de translação é bastante curto (91 minutos), permitindo resoluções espacial e temporal comparativamente altas. Ainda os mesmos autores, referiram que o projeto TRMM possui ainda um programa de validação à superfície (*ground validation*), para minimização das diferenças entre estimativas por satélite e medições no solo.

O satélite tinha o objetivo específico de monitorizar e estudar a precipitação nos trópicos, além de verificar como a mesma influência o clima global (Kummerow *et al.*, 2000; Tan & Santo, 2018). Segundo NASA (2018), os dados TRMM tornaram-se uma referência na estimação da precipitação, estimulando pesquisas e estudos que melhoraram a nossa compreensão da evolução e estrutura dos ciclones, relações relâmpagos-tempestades, modelação climática, meteorologia e impactos das chuvas, assim como vieram permitir a realização de aplicações operacionais e sociais, como monitorização de cheias, secas e a previsão do tempo.

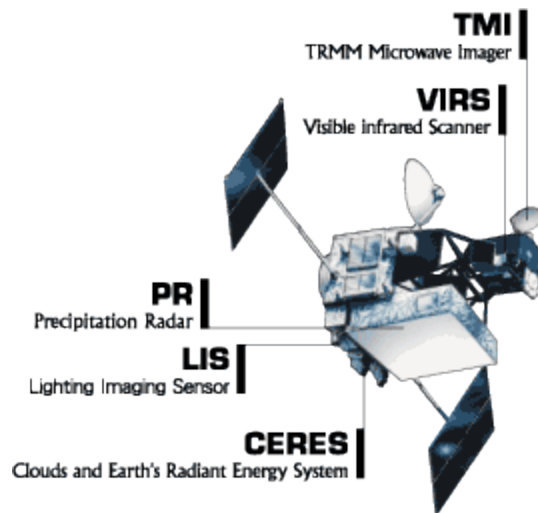


Figura 2: Os sensores utilizados no TRMM. **Fonte:**
<https://gpm.nasa.gov/missions/TRMM/satellite>.

3.3.2. Programa GPM e produtos IMERG

Segundo NASA (2019), a GPM (*Global Precipitation Measurement Mission*) é uma missão internacional de satélites para a produção de estimações da precipitação, próximas do tempo real e para um vasto ramo de aplicações importantes para a sociedade. O programa GPM tem como objetivos fornecer, monitorizar e estudar os dados globais de estimacão da precipitação líquida e sólida, contribuindo para melhorar a nossa compreensão sobre o ciclo da água global, a partir de uma constelação de satélites, que integra uma plataforma central ("*core GPM observatory*") e um conjunto de satélites parceiros (**Figura 3**), (Hou *et al.*, 2014; Skofronick-Jackson *et al.*, 2017).

Lançado em fevereiro de 2014, este programa de cooperação entre as agências espaciais NASA e JAXA, dá continuidade ao legado do programa TRMM (Hou *et al.*, 2014). Huffman *et al.* (2015) referem que o programa GPM tem capacidade de fornecer estimativas de precipitação líquida e sólida, em períodos e regiões que outros programas não são capazes de oferecer. Hou *et al.* (2014) afirmam que esses valores variam a partir de 0,2 mm/h a chuva forte, e salientam que os valores de precipitação sólida (neve) em algumas áreas do globo representam uma fração significativa das ocorrências. A previsão da duração de combustível da missão GPM é para que dure até 2030,

esperando-se que os instrumentos a bordo permaneçam funcionais neste prazo de tempo (Skofronick-Jackson *et al.*, 2018).

Segundo Hou *et al.* (2014), os principais sensores presentes no GPM são o DPR (*Dual-frequency Precipitation Radar*) e o GMI (*GPM Microwave Imager*), sendo que ambos os sensores são extensões e melhorias dos instrumentos presentes na missão TRMM.

A respeito do posicionamento do GPM, Skofronick-Jackson *et al.* (2018) referem que opera numa órbita não síncrona ao Sol, com inclinação de 65°, e a 407 km de altitude acima do equador.

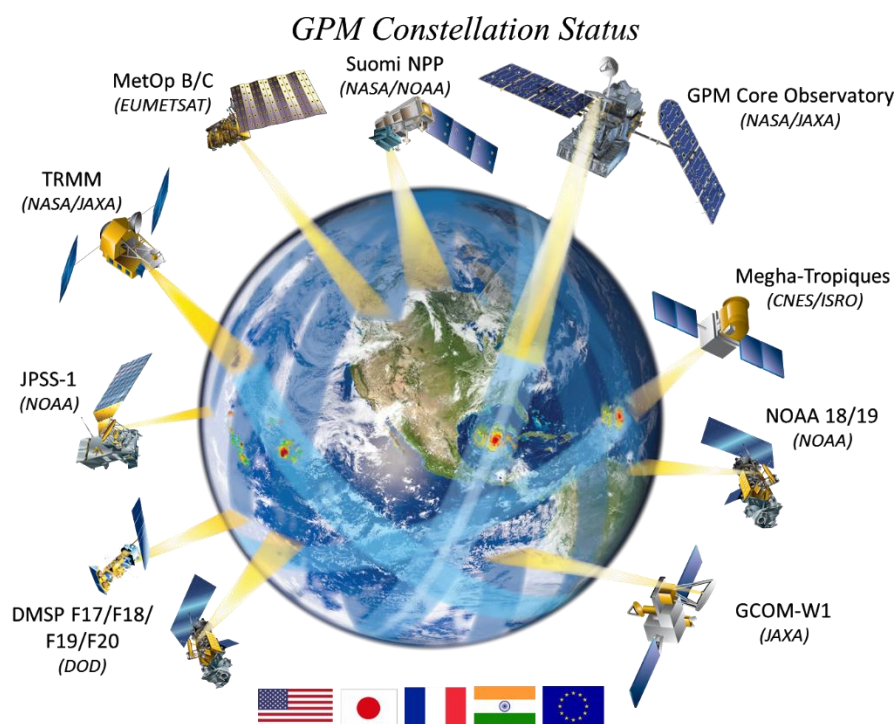


Figura 3: Constelação de Satélites da Missão Espacial GPM. **Fonte:** NASA.

Para a validação das estimativas, Skofronick-Jackson *et al.* (2018) referem que o programa GPM incorpora uma vasta rede de observações terrestres (incluindo medições nos aviões) para apoiar o desenvolvimento de algoritmos, contribuindo para que o produto final possa ter algumas aplicações sociais, tais como: localização de ciclones tropicais, monitorização de secas, estudos económicos, migração de animais, entre

outros. Os mesmos autores citaram alguns objetivos científicos do GPM, sendo eles: **1)** medir a precipitação desde o espaço; **2)** melhorar o conhecimento dos sistemas de precipitação e variabilidade do ciclo da água e disponibilidade de água doce; **3)** melhorar a modelação climática e as capacidades de previsão; **4)** melhorar a previsão do tempo e as reanálises atmosféricas (**Figura 4**).

O algoritmo IMERG (*Integrated **M**ulti-satellit**E** Retrievals for **G**PM*) constitui um produto da missão GPM que, segundo Huffman *et al.* (2015), foi desenvolvido para compensar as limitações de amostragem disponível a partir dos satélites de órbita baixa, permitindo assim preencher importantes lacunas de informação. O produto está acessível numa resolução temporal a partir de 30 minutos e resolução espacial a partir de $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ (10 km x 10 km), cerca de 5 horas após o evento de precipitação (Hou *et al.*, 2014; Huffman *et al.*, 2015; Skofronick-Jackson *et al.*, 2018), sendo disponibilizado em três versões *Early Run*, *Late Run* e *Final Run* (Huang *et al.*, 2014).

A NASA concebe e divide os vários produtos IMERG por níveis, sendo o primeiro aquele que apresenta os dados mais brutos e os últimos os mais elaborados e confiáveis. O nível usado para este estudo foi o *level 3* (nível 3 do algoritmo IMERG), numa resolução $0,1^\circ$, o mais elaborado e que, portanto, já incorpora melhorias nas estimativas.

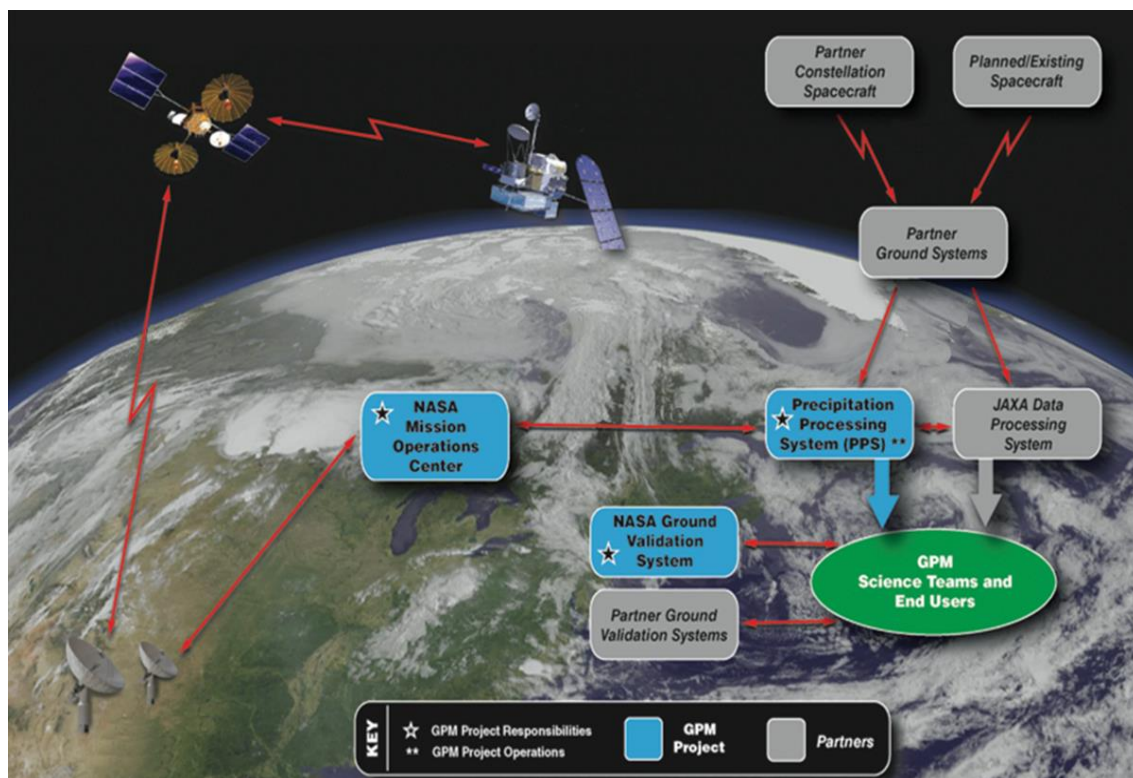


Figura 4: Sistema de dados e comunicação das operações da missão GPM. **Fonte:** Skofronick-Jackson *et al.*, 2017).

3.3.3. Revisão de literatura sobre estudos usando precipitação estimada por satélites

Uma vez que o GPM é um produto novo e que veio substituir o TRMM, muitos dos estudos analisados compararam esses dois produtos. De um modo geral, as áreas geográficas que são testadas nesses estudos são vastas, envolvendo um elevado número de estações pluviométricas na validação dos dados de estimativa.

No **Quadro 2** sintetizam-se as conclusões apresentadas em diferentes estudos de validação. Nicolete *et al.* (2017) no seu estudo sobre a bacia do rio Tietê (Brasil) afirmam que houve uma concordância satisfatória entre os valores de precipitação estimados (GPM) e os observados. Na China, comparando os dois produtos com melhores referências, Xu *et al.* (2017) afirmam que o GPM tende a subestimar a quantidade de precipitação nos eventos de chuva fraca, enquanto o TRMM é o oposto (sobrestimação), recomendando melhorias no algoritmo, que levem em conta as influências topográficas. Já Tan *et al.* (2016) referiram que o algoritmo GPM apresenta alguns erros e falsos

alarmes para a detecção de chuvas, sobrestima chuvisco (chuva fraca) e subestima chuva forte, com consideráveis erro aleatórios. Um estudo que revelou um ótimo resultado foi o realizado para o território holandês, por Gaona *et al.* (2016), concluindo que o algoritmo sobrestima ligeiramente as chuvas (2%, tratando-se de uma diferença pequena), pelo que os autores propõem o IMERG como uma fonte confiável de dados de precipitação. Chen & Li (2016) sublinham que apesar do IMERG captar bem os padrões espaciais de precipitação na China, e ter melhores resultados no inverno comparativamente às outras estações do ano, concluem pela necessidade de melhorar a capacidade de estimar a precipitação sólida para os dois produtos (GPM e TRMM). Sungmin *et al.* (2017) concluíram num estudo aplicado ao território austríaco, que o algoritmo IMERG produto de GPM subestimou as precipitações fortes e sobrestimou as precipitações fracas, levando a uma desconformidade nos dados, que acabou por influenciar os resultados na precipitação acumulada. Já Gadêlha (2018) concluiu que o GPM se mostrou uma boa fonte de dados, mas com melhores resultados quando se utilizam escalas de tempo maiores (mensal e anual) e em áreas de maiores dimensões.

Quadro 2: Vários estudos realizados sobre algoritmo GPM-IMERG, de regiões diferentes do planeta, a várias resoluções temporais e espaciais.

Estudo	Área de estudo	Res. Temp.	Res. Espac.	Prec. Estim.	Prec. Observ.
Chen & Li (2016)	China	Trimestral Anual	0,1° x 0,1° (GPM) 0,25° x 0,25° (TRMM)	02/2014 a 02/2015	+ de 750 estações pluviométricas
Gadêlha (2018)	Brasil	30 minutos Diária Mensal Anual	0,1° x 0,1° (GPM)	01/2016 a 12/2016	4911 estações pluviométricas
Gaona <i>et al.</i> (2016)	Holanda	30 minutos Diária Mensal Anual	0,1° x 0,1° (GPM)	04/2014 a 03/2015	357 estações pluviométricas
Nicolette <i>et al.</i> (2017)	Bacia do rio Tietê, Brasil	Mensal	0,1° x 0,1° (GPM)	01/2015 a 12/2015)	111 estações pluviométricas
Sungmin <i>et al.</i> (2017)	Sudeste da Áustria	30 minutos	0,1° x 0,1° (GPM)	04/2014 a 09/2014 04/2015 a 09/2015	40 estações pluviométricas
Tan <i>et al.</i> (2016)	Costa leste (Atlântica), EUA	Horária	0,1° x 0,1° (GPM)	04/2014 a 08/2015	36 estações pluviométricas
Xu <i>et al.</i> (2017)	Sul do planalto tibetano	Mensal	0,1° x 0,1° (GPM) 0,25° x 0,25° (TRMM)	05/2014 a 09/2014	537 estações pluviométricas

4. Métodos e técnicas

4.1. Dados utilizados e fontes de informação. Recolha, verificação e validação dos dados

Quadro 3: Coordenadas geográficas e altitude das estações (observações e estimações) estudadas. Fonte: INMG e NASA.

Mindelo	Observações INMG			Estimações GPM-IMERG	
	Altitude (m)	Latitude (°) N	Longitude (°)	Latitude (°) N	Longitude (°)
Ilha de São Vicente					
Mindelo	10	16,88	-25,00	16,85	-25,05
Ilha do Sal					
Aeroporto do Sal	54	16,73	-22,95	16,75	-22,95
Ilha da Boavista					
Rabil	21	16,08	-22,53	16,05	-22,55
Ilha do Maio					
Vila do Maio	22	15,14	-23,21	15,15	-23,25
Ilha de Santiago					
São Jorge dos Órgãos	310	15,05	-23,62	15,65	-23,65
São Domingos	235	15,02	-23,55	15,05	-23,55
Aeroporto da Praia	64	14,93	-23,49	14,95	-23,45
São Francisco	89	14,98	-23,49	15,05	-23,45
Ilha do Fogo					
São Filipe	48	14,90	-24,50	14,95	-24,45

4.1.1. Precipitação observada

Os dados de observação convencional da precipitação são essenciais para avaliar a qualidade das estimativas de satélite. Assim, após solicitação formal ao Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica de Cabo Verde (INMG, delegação da Praia), o mesmo disponibilizou dados pluviométricos diários de nove estações, repartidas pelo arquipélago de Cabo Verde. Os dados cedidos pela INMG estão expressos em milímetros/dia (mm/d) e no formato xlsx (excel), para o período 01/01/2014 a 31/12/2018. A localização geográfica destas estações - Mindelo (São Vicente), Aeroporto do Sal (Sal), Rabil (Boavista), Vila do Maio (Maio), Aeroporto da Praia (Santiago), São Francisco (Santiago), São Domingos (Santiago), São Jorge dos Órgãos (Santiago) e São Filipe (Fogo), apresenta-se no **Quadro 3** e na **Figura 5**.

Segundo informação prestada, via correio eletrónico, pelo INMG de Cabo Verde, os dados diários de precipitação disponibilizados para esta investigação foram registados

em três estações meteorológicas automáticas (Aeroporto da Praia, Mindelo e Aeroporto do Sal), e em seis postos udométricos (Rabil, Vila do Maio, São Francisco, São Domingos, São Jorge dos Órgãos e São Filipe). Os valores diários são acumulados das 0:00 às 24:00 (dias civis) nas estações meteorológicas automáticas, enquanto nos postos udométricos são acumulados das 9:00 às 9:00. O conhecimento desta informação é de grande importância na presente investigação, uma vez que se pretende fazer uma comparação e validação dos dados diários de estimação por satélite, organizados em dias civis (0h-24h), com os dados diários de observação. Por razões de ordem prática, os nove locais de registo das observações da precipitação utilizados neste trabalho serão, ao longo do texto, sempre referidos como “estações meteorológicas”.

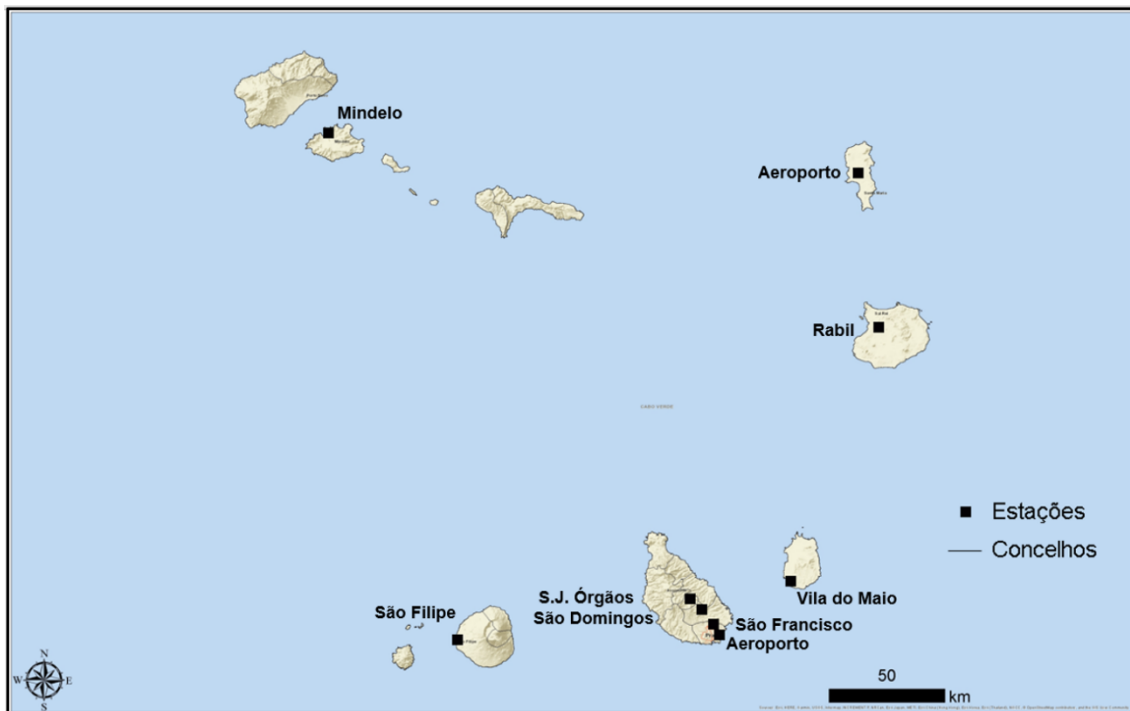


Figura 5: Localização das nove estações meteorológicas usadas para a investigação, distribuídas pelas ilhas de São Vicente, Sal, Boa Vista, Maio, Santiago e Fogo. **Fonte:** Adaptação da BaseMaps (ArcGIS) e INMG.

4.1.2. Precipitação estimada

A NASA disponibiliza gratuitamente os dados dos produtos da missão GPM-IMERG, no seu site oficial (GES DISC, *Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center* <https://disc.gsfc.nasa.gov/>), na resolução temporal e espacial mais fina (0,1° e (30 minutos) e no nível e versão mais recentes (*Level 3; Version 06*) que, segundo Gadêlha (2018), corresponde ao produto que já contém melhorias que facilitam a sua manipulação. Os ficheiros descarregados contêm a soma das estimativas acumuladas diariamente, organizadas em períodos (0h-24h) de tempo universal coordenado, usando a variável (*precipitation estimate with gauge calibration - combined microwave-IR*). Os dados descarregados são os do processamento “*Final Run*” uma vez que, segundo Huang *et al.* (2014) a NASA recomenda que sejam utilizadas as informações nessa versão. Os dados são expressos em milímetros (mm) e no formato netCDF (com extensão .nc4), para o período 01/01/2014 a 31/12/2018, e respeitam aos nove pontos de grelha (ver **Quadro 3**) com coordenadas (latitude e longitude) coincidentes aos das nove estações com dados de observação (ou, quando não possível, ao valor mais aproximado dessas localizações).

Deve ainda notar-se que os dados disponíveis do produto GPM-IMERG têm início em 12/03/2014 e, de modo a completar o período de estudo com anos completos, retiraram-se os dados de TRMM disponibilizados na mesma base de dados, do período 01/01/2014 a 12/03/2014, permitindo assim completar cinco anos de dados – 2014 a 2018. Deve sublinhar-se que, embora se tenha completado o período acima referido com os dados de TRMM, esse curto período, abrangeu os três primeiros meses, nos quais a precipitação é tipicamente quase nula, ou até mesmo nula em Cabo Verde.

Foram também usados dados GPM-IMERG na resolução espacial de 0,2° e temporal anual, extraídos no site *Climate explorer* (<https://climexp.knmi.nl/>), com a finalidade de criar mapas da precipitação estimada. Essa decisão decorreu do formato/extensão dos dados disponível (.nc) permitir, ao contrário do .nc4, abrir e editar os ficheiros com *softwares* como *GrADS* ou *CMSAF*.

4.2. Métodos e técnicas no tratamento da informação

4.2.1. Métodos de comparação entre valores de precipitação estimados e observados

4.2.1.1. Métricas de avaliação de qualidade das estimações

- Parâmetros de associação

Vários autores (Tang *et al.* (2016); Gaona *et al.* (2016); Xu *et al.* (2017); Gadêlha (2018); Satgé *et al.* (2020)) usaram as equações descritas abaixo para comparação entre observações e estimações, e constatou-se que há muitas outras equações diferentes escolhidas por outros autores consoante os seus objetivos do trabalho. A escolha destas equações deve-se ao fato delas proporcionarem elementos de avaliação suficientes para que se possa atingir os objetivos desta investigação. Fornecem medidas de avaliação das diferenças entre precipitação estimada e observada, permitindo concluir se se verifica sobrestimação ou subestimação, obtendo-se métricas de parâmetros de erro em relação aos quais existe um valor que significa uma estimação ideal (erro nulo), e a partir daí classificar a qualidade da estimação da precipitação como satisfatória ou insatisfatória.

Erro médio

$$EM = \frac{\sum_{t=1}^n ep\ t}{n} \quad \text{(Equação 1)}$$

Em que:

n = nº total de período em estudo

$ep\ t$ = Erro no período t

$ep\ t = et - ot$

ot = Valor total da precipitação observada

et = Valor total da precipitação estimada

O erro médio obtém-se ao fazer a diferença da precipitação estimada e observada (ep t), somando-se em seguida esses valores, que podem ser positivos (sobrestimação) e/ou negativos (subestimação). Posteriormente, divide-se essa soma pelo número total de unidades temporais da amostra, e tem-se o erro médio para o período analisado pretendido, em que o valor perfeito é zero (ótimo).

Coeficiente de correlação de Pearson (r)

$$r = \frac{\text{cov(observada, estimada)}}{\sqrt{\text{var(observada)} * \text{var(estimada)}}} \quad \text{(Equação 2)}$$

Os valores de r variam de -1 a 1, em que o sinal indica a direção positiva ou negativa do relacionamento. O valor zero indica que não há relação linear entre as variáveis e os valores 1 e -1 indicam correlação perfeita (ótimo).

Coeficiente de determinação (r²)

$$\text{Coeficiente de determinação} = \text{Coeficiente de correlação de Pearson}^2 \quad \text{(Equação 3)}$$

O r², varia de 0 a 1, indicando a percentagem da correlação entre as duas variáveis, sendo 1 o resultado perfeito (ótimo). É definido elevando o valor coeficiente de correlação de Pearson ao quadrado. Quanto maior o r², mais explicativo é o modelo.

Dispersão linear

$$y = \beta x + \alpha \quad \text{(Equação 4)}$$

Em que:

β = Inclinação da reta regressão (coeficiente angular)

x = Variável independente

α = Interseção, ou seja, em que valor a reta corta o eixo do y

Viés (β)

$$\beta = \frac{\text{precipitação média (estimada)}}{\text{precipitação média (observada)}} \quad \text{(Equação 5)}$$

Viés é o rácio entre a precipitação média estimada (numerador) e a precipitação média observada (denominador). O seu resultado perfeito tem valor 1 (ótimo), ou seja, quando o valor da precipitação estimada for igual ao da precipitação observada.

Rácio de variabilidade (Υ)

$$\Upsilon = \frac{\text{coeficiente de variação (estimada)}}{\text{coeficiente de variação (observada)}} \quad \text{(Equação 6)}$$

Nota:

CV estimada = DP estimada / média estimada

CV observada = DP observada / média observada

O rácio de variabilidade obtém-se através do rácio entre os coeficientes de variação da precipitação estimada (numerador) e observada (denominador), que, por sua vez, são adquiridos através do rácio de desvio padrão com a média. O seu resultado perfeito tem valor 1 (ótimo).

Kling–Gupta Efficiency (KGE)

$$KGE = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + (\beta - 1)^2 + (\gamma - 1)^2} \quad \text{(Equação 7)}$$

O Índice de Eficiência Kling-Gupta obtém-se através de uma equação que combina as seguintes variáveis: coeficiente de correlação de Pearson (r), Viés (β) e rácio de variabilidade (γ). Os valores de KGE variam de $-\infty$ a 1, sendo 1 resultado perfeito (ótimo).

Heidke Skill Score (HSS)

$$HSS = \frac{2 \cdot (a \cdot d - b \cdot c)}{[(a+c) \cdot (c+d) + (a+b) \cdot (b+d)]} \quad \text{(Equação 8)}$$

Quadro 4: Tabela de contingência para definição de HSS. **Fonte:** Adaptado de Satgé *et al.* (2020).

		Observada	
		Precipitação	Sem precipitação
Estimada	Precipitação	a	b
	Sem precipitação	c	d

Em que:

a = Sucesso (precipitação simultâneo na observada e na estimada)

b = Falso alarme (precipitação na estimada e sem precipitação na observada)

c = Falhas (precipitação na observada e sem precipitação na estimada)

d = Rejeições corretas (sem precipitação em simultâneo na observada e na estimada)

Os valores do HSS variam de $-\infty$ a 1, sendo 1 resultado perfeito (ótimo).

4.2.1.2. Gráficos de dispersão

Os gráficos de dispersão foram construídos para ilustrar a relação entre os valores observados e estimados, e assim representá-los em nuvens de pontos.

Nestes gráficos de dispersão incluiu-se a reta de regressão, cujo cálculo foi explicado na **Equação 4**.

Os pontos das variáveis nestes gráficos vão estar representados por cores, e com os seguintes significados:

Verde: Sucesso (precipitação simultânea na observada e na estimada);

Azul: Falso alarme (precipitação na estimada e sem precipitação na observada);

Vermelho: Falhas (precipitação na observada e sem precipitação na estimada);

Preto: Rejeições corretas (sem precipitação em simultâneo na observada e na estimada).

4.3. Programas informáticos utilizados no tratamento dos dados

Usaram-se os seguintes *softwares* ao longo do trabalho, conforme as necessidades. O *ArcGIS* serviu para criar mapas diversos, permitindo a espacialização dos dados da precipitação, assim como os mapas de localização do arquipélago e das estações meteorológicas estudadas. O *Panoply* teve várias funções, como preparar, visualizar e analisar os dados, no caso desta investigação, em formato netCDF (.nc4). O *Panoply*, além de ter servido para visualizar os dados da precipitação estimada, permitiu, posteriormente, converter séries de dados diários para ficheiros em formato de texto (.txt) que, depois, puderam ser trabalhados em *Excel*. O pacote *Office365* é de suma importância para qualquer estudante, e usaram-se funções operativas do *Excel* para tratar os dados da precipitação estimada, e também para organizar e tratar, igualmente, os dados da precipitação observada. Serviu, naturalmente, para calcular as métricas de avaliação de qualidade das estimações (erro médio, r , r^2 , B, Υ , KGE e HSS) e, posteriormente, para a criação de gráficos e tabelas. O *GrADS* permitiu espacialização

da precipitação estimada GPM-IMERG. Não menos importantes, o *Powerpoint* e o *Word* serviram para a apresentação de resultados e a escrita do relatório. Um software nativo do sistema operativo *Windows*, o *Paint*, serviu para edições rápidas de imagens, figuras e quadros.

4.4. Outras considerações metodológicas

Na presente investigação, considera-se um **dia de precipitação** como um dia em que foi observada/estimada uma quantidade superior ou igual a 1 mm. A decisão de considerar precipitação a partir de 1 mm deve-se ao fato de os dados de precipitação estimada terem ao longo do período 2014-2018 muitos valores baixos, sendo muitos deles inferiores a 0,1 mm/dia, que não têm correspondência na medição por udómetros convencionais e por estações meteorológicas automáticas. Sendo assim, todos os valores inferiores a 1 mm/dia foram considerados dias “sem precipitação” tal como se procedeu no estudo de Zambrano-Bigiarini *et al.* (2017). Para a aplicação da fórmula *Heidke Skill Score* (HSS), foi preciso classificar os dias com precipitação ou ausência dela, usando-se o mesmo critério para os dados estimados e dados observados.

Para a classificação da intensidade da precipitação diária, neste estudo irão ser consideradas 5 classes, criadas por Zambrano-Bigiarini *et al.* (2017) com o objetivo de avaliar as estimativas da precipitação por satélite no Chile, **Quadro 5**, sendo elas: sem precipitação, precipitação fraca, precipitação moderada, precipitação forte e precipitação extrema.

Uma outra determinação metodológica importante prende-se com a definição da estação chuvosa adotada neste estudo. Estabeleceu-se que as duas principais estações que definem o clima do arquipélago são: Estação das chuvas, de julho a novembro, sendo julho e novembro os meses de transição, e estação seca de dezembro a junho.

Os termos sobrestimação e subestimação serão utilizadas por diversas vezes ao longo dessa dissertação devendo notar-se que o primeiro caso acontece quando o valor da precipitação estimada é superior ao da precipitação observada, enquanto o segundo

caso sucede sempre que o valor da precipitação estimada é inferior ao da precipitação observada.

Quadro 5: Classificação de eventos da precipitação diária. **Fonte:** Adaptado de Zambrano-Bigiarini *et al.* (2017).

Classes de eventos	Intensidade (mm/dia)
Sem precipitação	[0 , 1[
Precipitação fraca	[1 , 5[
Precipitação moderada	[5 , 20[
Precipitação forte	[20 , 40[
Precipitação extrema	≥40

5. Resultados e discussão

5.1. Caracterização da precipitação observada (2014-2018)

A média da precipitação anual observada no período 2014-2018 varia de 85 mm a 478 mm nas estações estudadas (**Figura 6**). Pode-se ver que a média da precipitação anual, em geral, é baixa, sendo as estações fora da ilha de Santiago (Mindelo, Aeroporto do Sal, Rabil, Vila do Maio e São Filipe) as que registam valores mais baixos. Sendo assim, as estações com maior valor médio de precipitação anual, por ordem crescente e na ilha de Santiago, são: São Francisco, Aeroporto da Praia, São Domingos e São Jorge dos Órgãos.

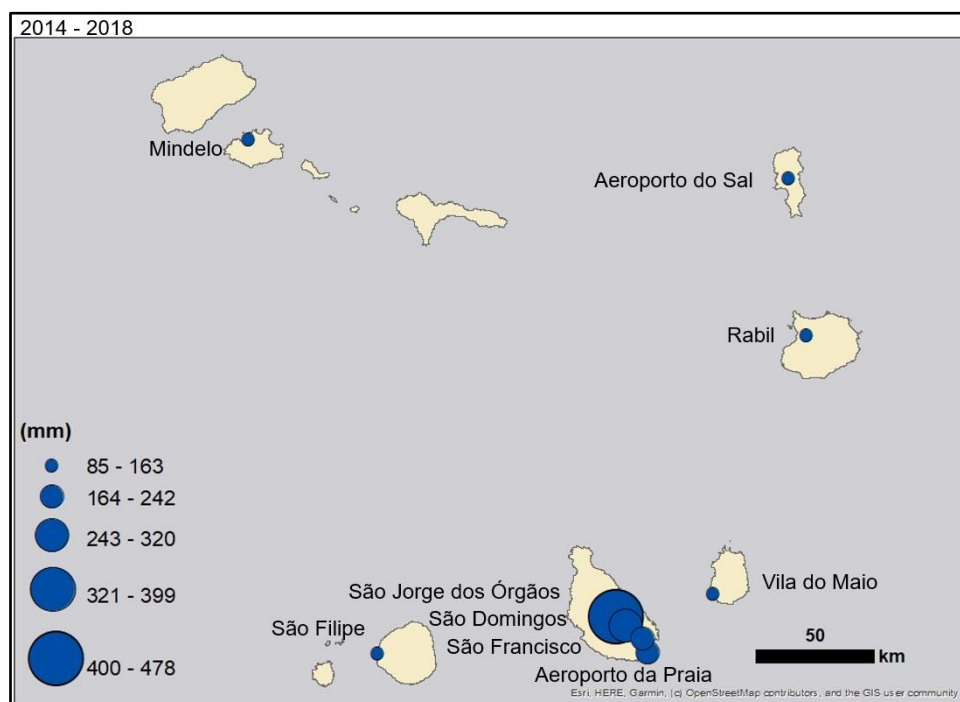


Figura 6: Precipitação média anual observada nas nove estações em estudo, no período 2014-2018. **Fonte:** BaseMaps (ArcGIS) e INMG. Elaboração própria.

5.1.1. Variabilidade interanual

A precipitação anual observada no período 2014-2018, (**Figura 7**), mostra uma grande irregularidade interanual da precipitação, com o ano mais chuvoso a atingir um valor

(médio dos nove locais) superior a 300 mm. A média anual da precipitação no período de estudo (2014-2018) no arquipélago foi de 186,3 mm, considerando as nove estações em estudo. Nesses cinco anos de estudo, o ano mais chuvoso foi 2015 com 345,6 mm de precipitação, enquanto o ano mais seco foi o de 2017, com um total médio anual de apenas 94,7 mm. O ano 2016 foi o segundo mais chuvoso, com valor da precipitação superior à média do período de estudo, de 240,3 mm. O ano 2018 foi o ano intermédio nos valores e na classificação com 141,9 mm e 2014 foi o segundo ano mais seco com 109 mm de precipitação.

É importante enquadrar e comparar estes valores com os referidos no estudo de Santos (2016), que analisou a perigosidade e suscetibilidade de ocorrência de seca em Cabo Verde no período 1962-2013, usando dados de 31 estações, das 9 ilhas habitadas. Santos (2016), constatou que a média anual da precipitação foi de 285 mm para o período de análise (1962-2013) e que os anos mais secos foram 1973 e 1977, nos quais se verificou um valor médio anual inferior a 50 mm (43 mm em ambos os anos), e, de modo oposto, os anos 1962, 1967 e 2010 foram os mais húmidos, cujo valor médio anual ultrapassou a barreira dos 500 mm. Amaral (2007) já destacara no seu estudo as enormes variações de ano para ano, citando os valores extremos da precipitação anual para estação da Praia, de 984,9 mm em 1906 e 40 mm em 1920.

A precipitação observada em cada estação e ano mostra a claramente a irregularidade mencionada acima. Pode-se ver nas **Figuras 8, 9, 10, 11 e 12**, que a estação de São Jorge dos Órgãos é a mais chuvosa, em qualquer ano do período de estudo, atingindo o valor máximo da precipitação anual (998 mm) no ano 2015. De notar com o valor total anual mais baixo foi registado no ano 2014, na estação de Rabil, apenas 2,3 mm. O ano 2017 foi o ano em que houve menos discrepância entre o valor máximo (168,8 mm) e mínimo (42,2 mm) de precipitação observada nas estações estudadas (**Figura 11**). Em contrapartida, o ano com maior discrepância entre os valores mínimo e máximo foi 2015 (**Figura 9**).

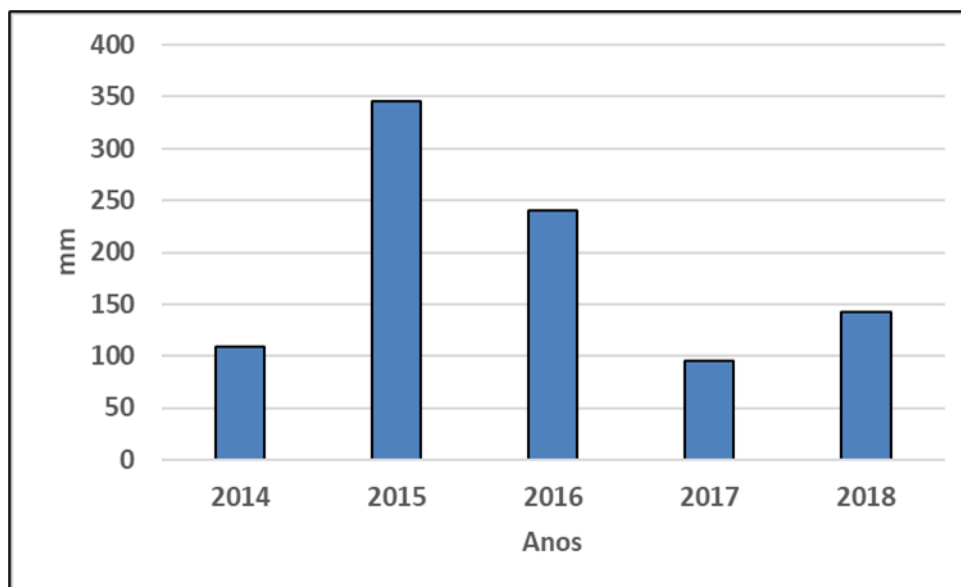


Figura 7: Variação anual da precipitação média observada no arquipélago, no período 2014-2018. **Fonte:** INMG (observada). Elaboração própria.

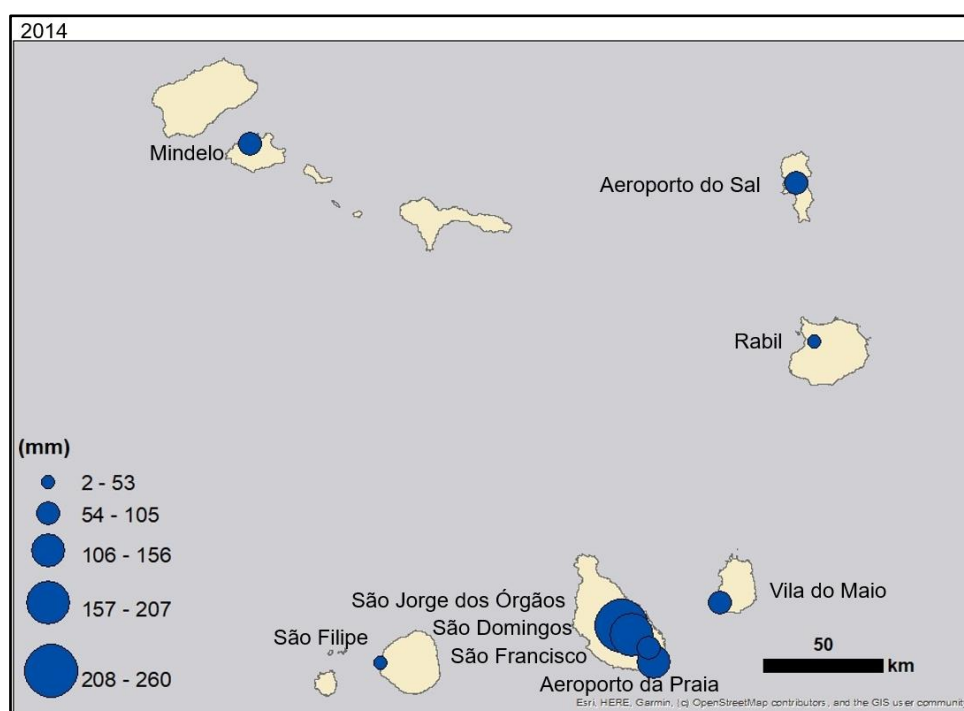


Figura 8: Precipitação total observada nas nove estações em estudo, no ano 2014. **Fonte:** BaseMaps (ArcGIS) e INMG. Elaboração própria.

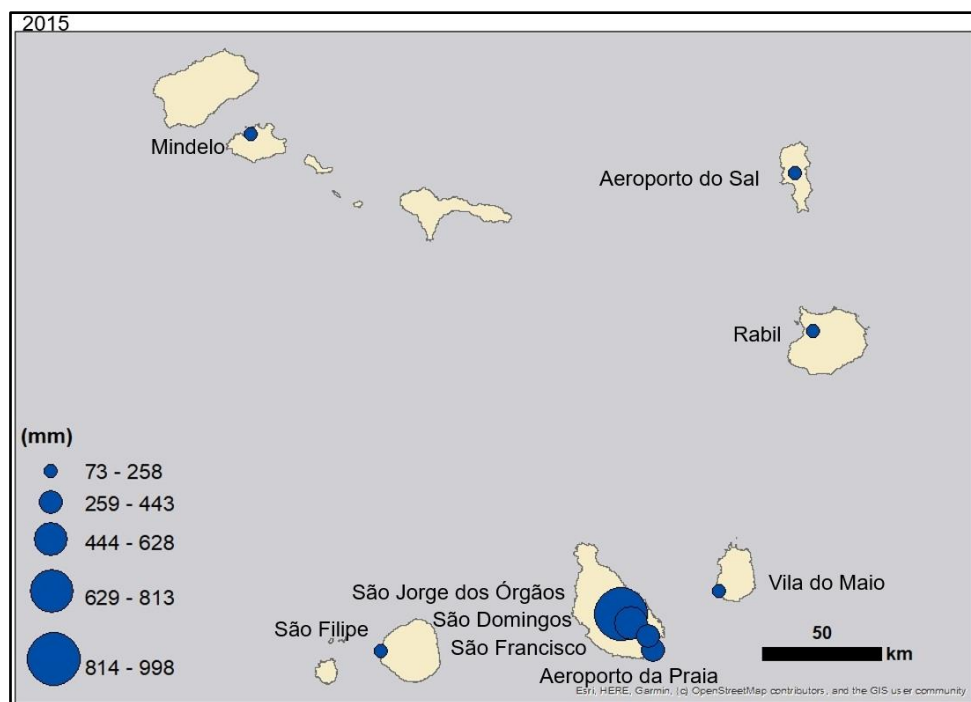


Figura 9: Precipitação total observada nas nove estações em estudo, no ano 2015.

Fonte: BaseMaps (ArcGIS) e INMG. Elaboração própria.

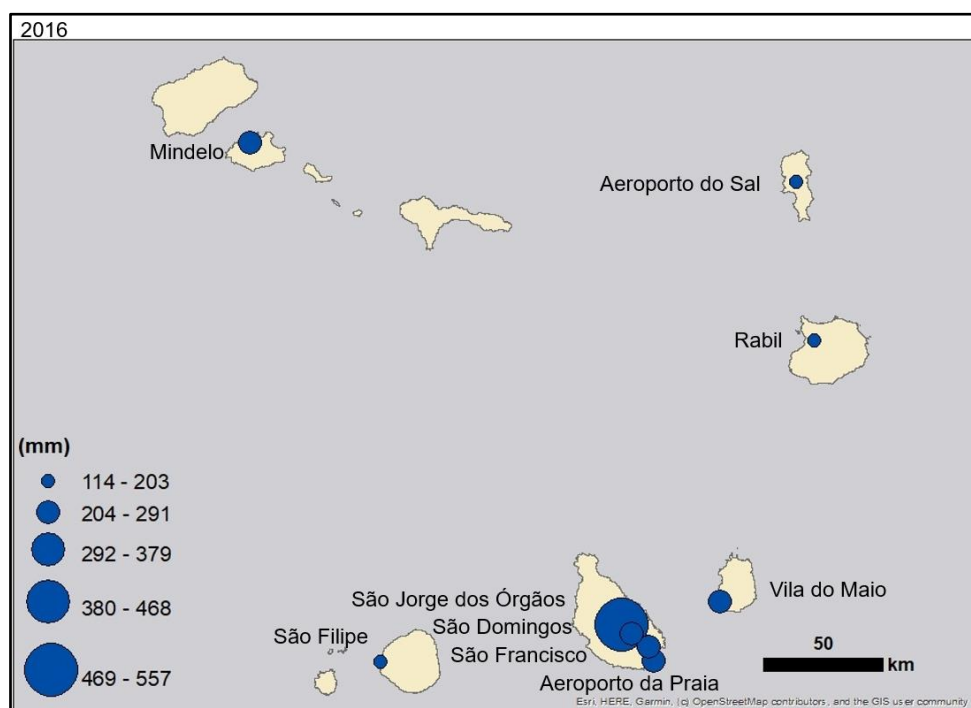


Figura 10: Precipitação total observada nas nove estações em estudo, no ano 2016.

Fonte: BaseMaps (ArcGIS) e INMG. Elaboração própria.

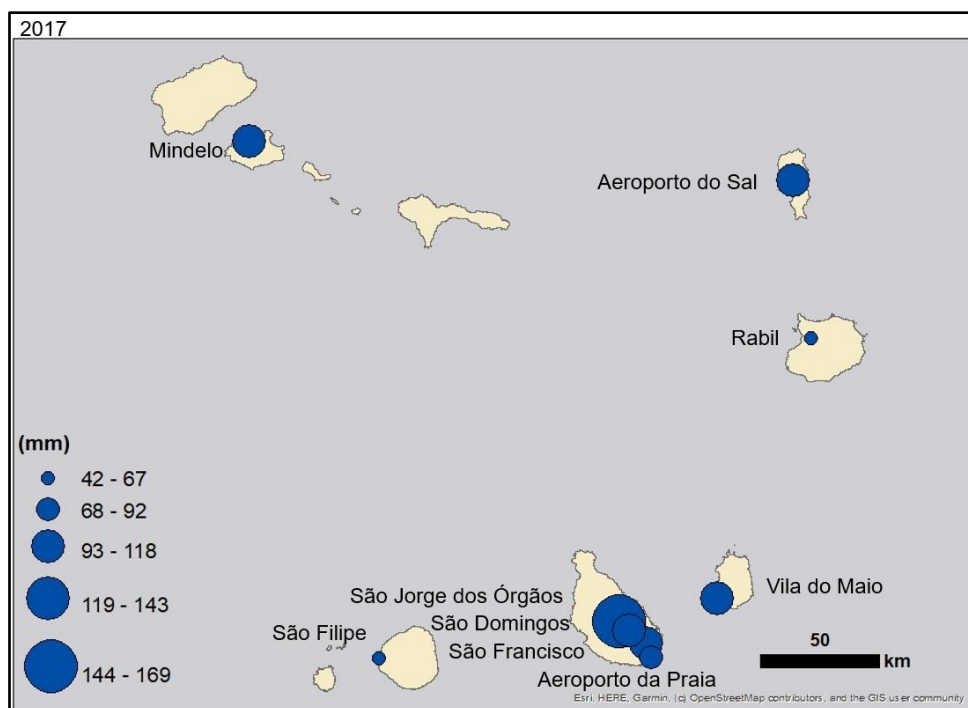


Figura 11: Precipitação total observada nas nove estações em estudo, no ano 2017.

Fonte: BaseMaps (ArcGIS) e INMG. Elaboração própria.

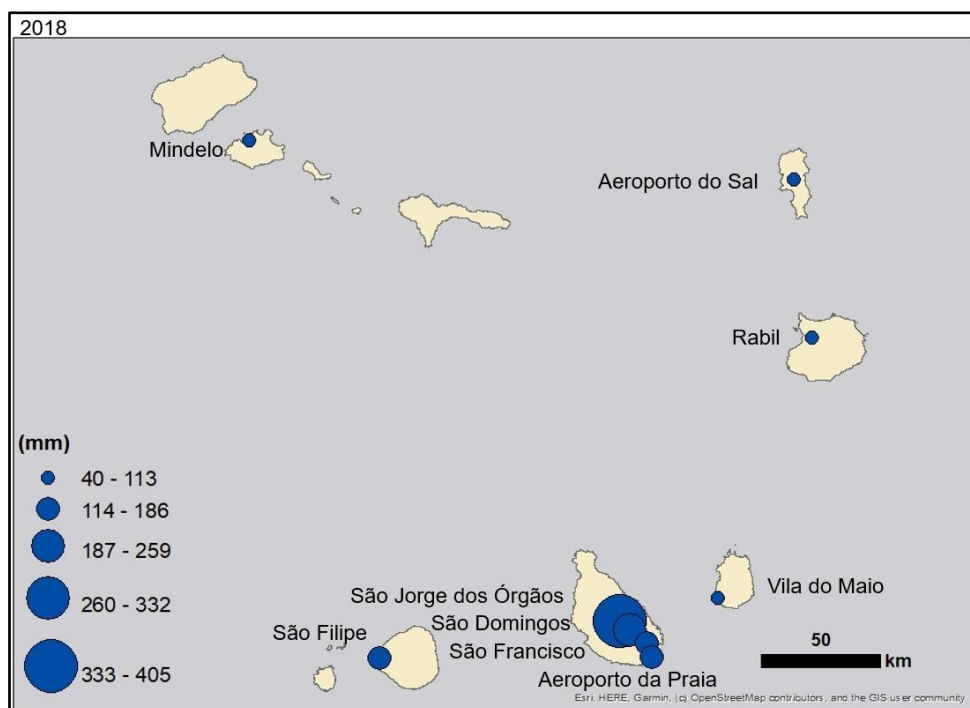


Figura 12: Precipitação total observada nas nove estações em estudo, no ano 2018.

Fonte: BaseMaps (ArcGIS) e INMG. Elaboração própria.

5.1.2. Regime médio anual

A época chuvosa já foi definida no **subcapítulo 4.4.**, e compreende o período julho-novembro. Considerando o conjunto das nove estações analisadas, 97,7% da precipitação observada no período de estudo (2014-2018) verificou-se na época chuvosa, como se pode ver na **Figura 13**, e mais da metade da precipitação (51,4%) registou-se no mês de setembro. As precipitações registadas nos meses de janeiro, fevereiro e dezembro podem ser consideradas como residuais, uma vez que a precipitação total dos três meses combinados representa apenas 2,3% do total da precipitação do arquipélago (2014-2018). Na época chuvosa, a precipitação teve o seu início com um valor bastante baixo (2 mm), aumentando gradualmente até setembro (95,2 mm), que foi o valor máximo, e a partir desse mês os quantitativos decrescem, também de modo gradual, passando para 22,5 mm em outubro e depois 3,8 mm em novembro. Santos (2016), que trabalhou com dados mensais, verificou que durante o seu período de estudo, 85% da precipitação se concentrou entre julho e outubro.

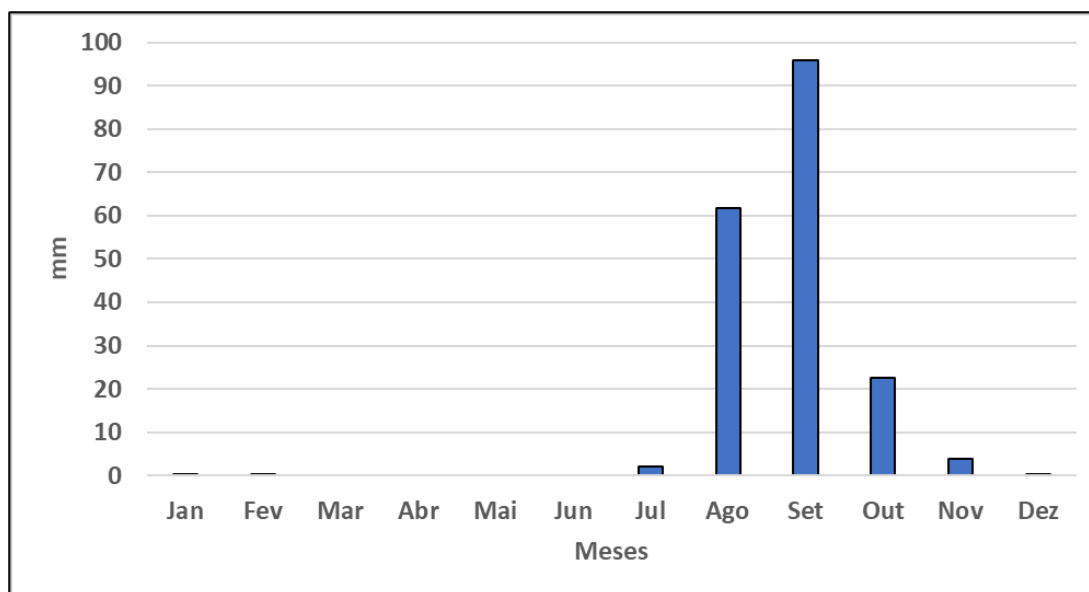


Figura 13: Comportamento da precipitação média observada ao longo do ano, no arquipélago, para o período 2014-2018. **Fonte:** INMG (observada). Elaboração própria.

Os valores médios da precipitação mensal (2014-2018) nos nove locais estudados apresentam-se na **Figura 14**. Os meses de julho e novembro são meses de transição, concentrando-se a quase totalidade da precipitação nos meses de agosto, setembro e

outubro (mais de 90% do total, em cada estação). A precipitação nos restantes meses é residual, não ocorrendo mesmo na maioria das estações e, nas duas onde ocorre (Vila de Maio e São Jorge dos Órgãos) não representam sequer 1% do total. Para todas as estações, a precipitação tem início em julho ou em agosto, tendo uma evolução crescente, atingindo sempre o máximo no mês de setembro, decaindo então gradualmente até ao mês de novembro, onde termina a época chuvosa.

Esta definição da estação chuvosa está de acordo com a proposta por Amaral (2007), referindo que duas estações principais definem os tipos de tempo no arquipélago: o “tempo das brisas” (estação seca), de dezembro a junho, e o “tempo das águas” (estação das chuvas), de agosto a outubro, em que os meses de julho e novembro podem ser considerados meses de transição. Por outro lado, Santos (2016) considerou a estação das chuvas com início em julho, justificando que constitui o primeiro mês com valor da precipitação superior a 10 mm. Para o mesmo autor, a estação chuvosa prolonga-se até dezembro, em que o máximo é atingido normalmente em setembro, mês a partir do qual as chuvas registam um decréscimo acentuado, com novembro a constituir o mês de transição da estação chuvosa para estação seca, em grande parte do arquipélago.

Assim sendo, para o período de estudo analisado nesta investigação (2014 a 2018), com os dados de INMG (dados de observação), considera-se a estação das chuvas de julho a novembro (tal como Amaral, 2007 definiu no seu estudo), em que os valores da precipitação vão aumentando gradualmente até setembro atingindo o seu pico de 95,80 mm (valor médio), começando o decréscimo gradual em outubro com 22,50 mm e em novembro com 3,8 mm. A precipitação média registada entre dezembro e junho foi sempre inferior a 1 mm no período analisado, e são considerados como meses secos.

Correia (1998a), relativamente à ilha de Santiago, considerou que os meses de julho e outubro, devido à irregularidade e escassez do volume da precipitação, devem ser considerados como meses de transição. Em julho, a mediana da precipitação é inferior a 10 mm, não ultrapassando 10% da mediana anual nos postos com maior expressão. Em outubro, apesar de ocorrer precipitação em toda a ilha (Santiago) e o seu valor ser superior ao do mês de julho, não representa, contudo, mais de 15% do total anual nas áreas onde tem maior importância. A estação das chuvas limita-se praticamente aos

meses de agosto e setembro, mesmo nas áreas onde se verifica menor concentração estacional, e estes dois meses concentram mais de 85% da precipitação mediana anual Correia (1998a). Nesse estudo, o autor considerou a data de início do período em que ocorre pelo menos 5 mm de precipitação após 1 de julho (período de “chuva útil” para o desenvolvimento da cultura do milho), o mês que marca a transição da estação seca para estação das chuvas.

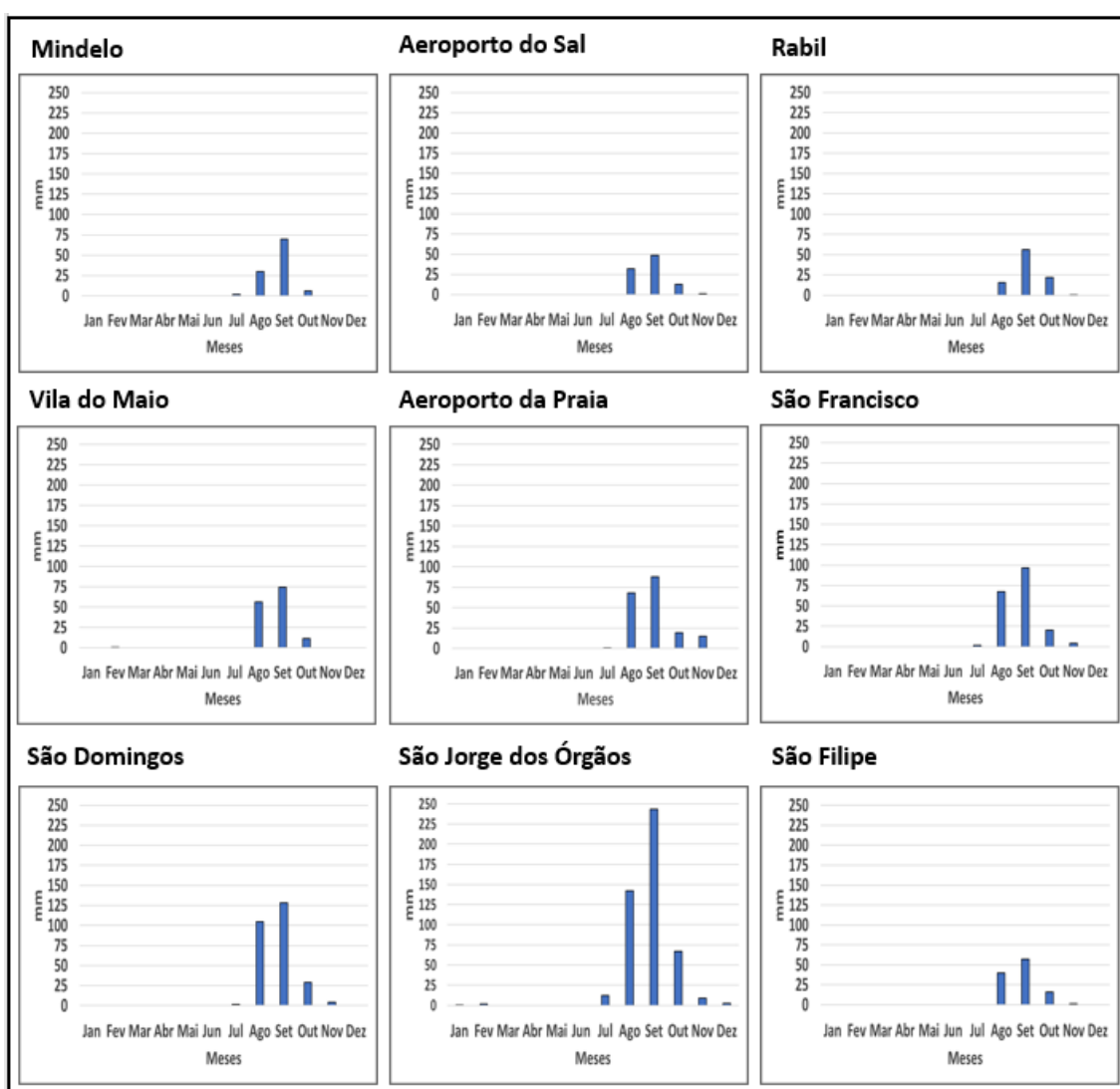


Figura 14: Precipitação média mensal observada nas nove estações em estudo, no período 2014-2018. **Fonte:** INMG. Elaboração própria.

Em São Vicente, o período de estudo foi muito seco na estação de Mindelo, como podemos ver na **Figura 15**, onde 2016 foi o ano menos seco com 233,6 mm, seguido por

2017 que teve 110 mm, enquanto os restantes três anos do período em análise registaram valores inferiores a 100 mm. No Mindelo, o mês de setembro foi o mais chuvoso por três ocasiões, 2014, 2016 e 2018. O mês de agosto foi o mais chuvoso nos anos 2015 e 2017. Dos cinco meses da época chuvosa, com exceção do ano 2017, nenhum dos outros anos registou precipitação em julho e nenhum dos anos registou precipitação no mês de novembro.

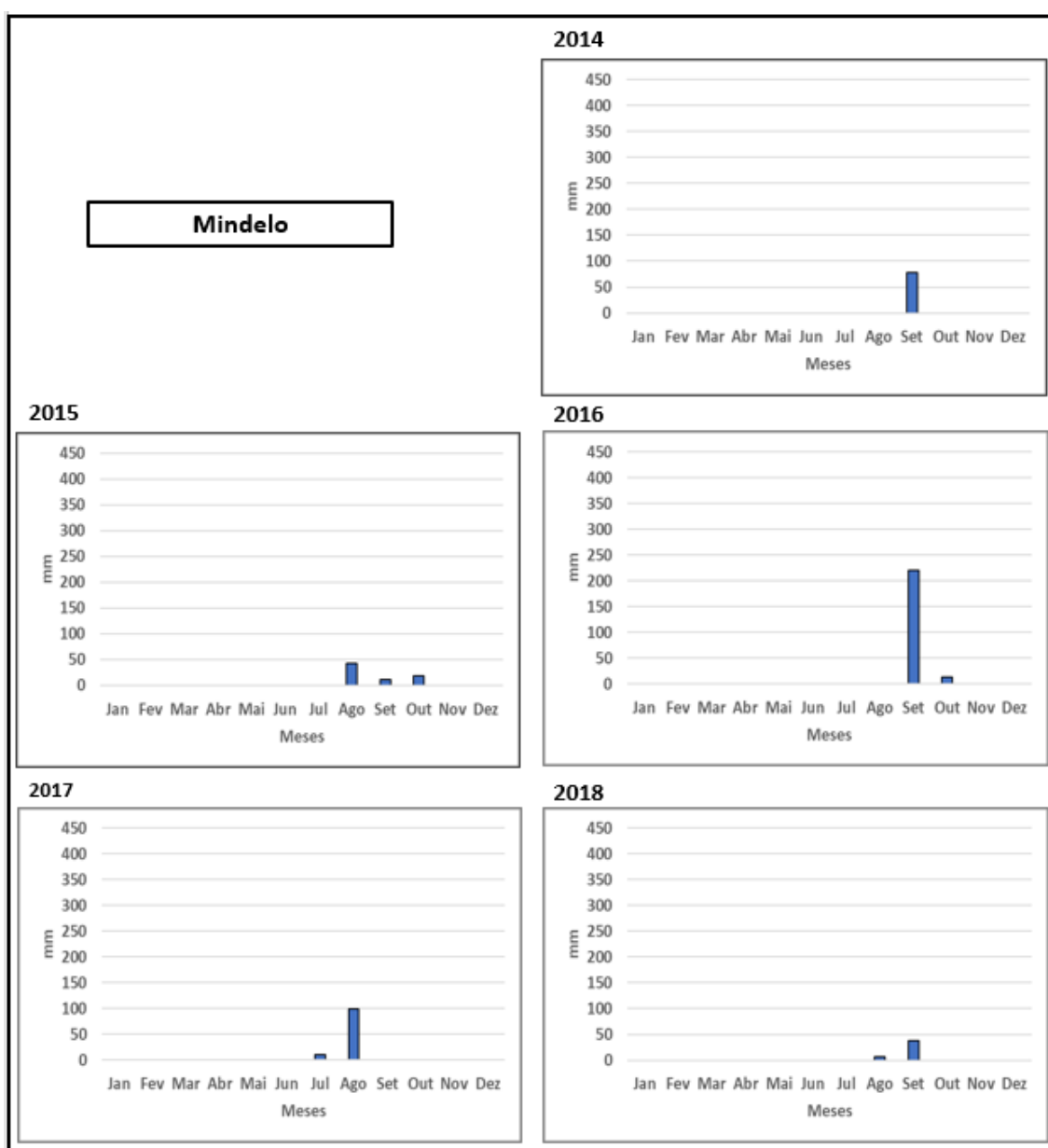


Figura 15: Precipitação mensal observada na estação de Mindelo, no período 2014-2018. **Fonte:** INMG. Elaboração própria.

Na **Figura 16**, observa-se que, na estação de Aeroporto do Sal, a precipitação anual foi baixa nos anos estudados (sempre menor que 120 mm), até comparando com a média do arquipélago. Os anos foram secos, com valor da precipitação anual mais elevado em 2015, que, conjuntamente com 2016, foram os únicos anos a registar precipitação em mais do que um mês. A precipitação só ocorreu nos meses da estação chuvosa, devendo notar-se, contudo, que nunca choveu em julho. As precipitações máximas ocorreram no mês de setembro por três ocasiões no período de estudo (2014, 2016 e 2018) e no mês de agosto nas restantes duas (2015 e 2017).

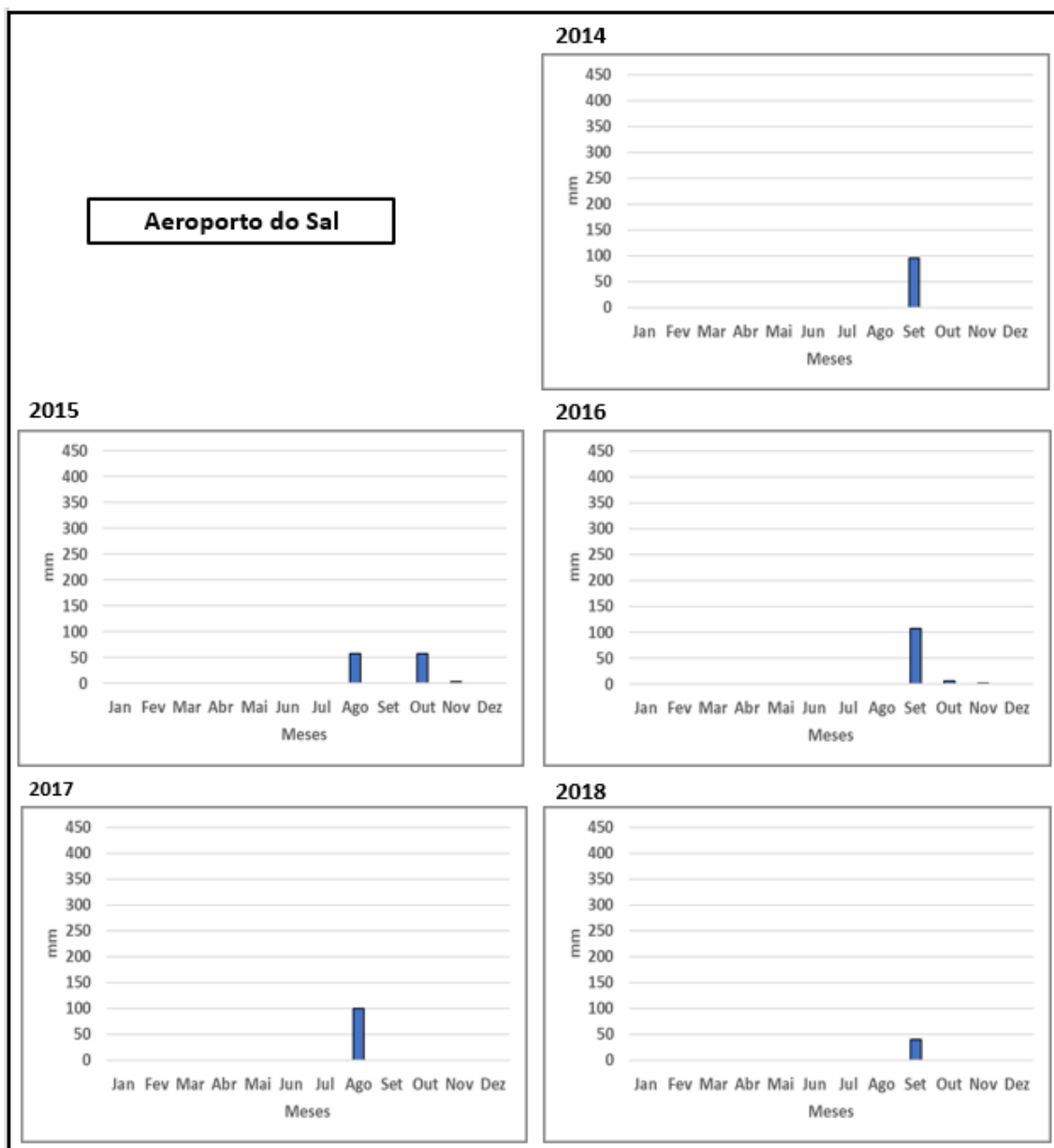


Figura 16: Precipitação mensal observada na estação de Aeroporto do Sal, no período 2014-2018. **Fonte:** INMG. Elaboração própria.

Quanto à estação de Rabil (ilha da Boa Vista), **Figura 17**, assistiu-se a uma irregularidade ainda maior que nas duas estações anteriormente abordadas. O período foi bastante seco para os anos analisados, sendo que os anos menos secos foram 2015 com 213,4 mm de precipitação e 2016 com 167,7 mm. Os outros três anos (2014, 2017 e 2018) foram bastantes secos, e apenas tiveram um mês com precipitação, e esses valores foram de apenas 2,3 mm no ano 2014, de 42,2 mm em 2017 e 44,99 no ano de 2018.

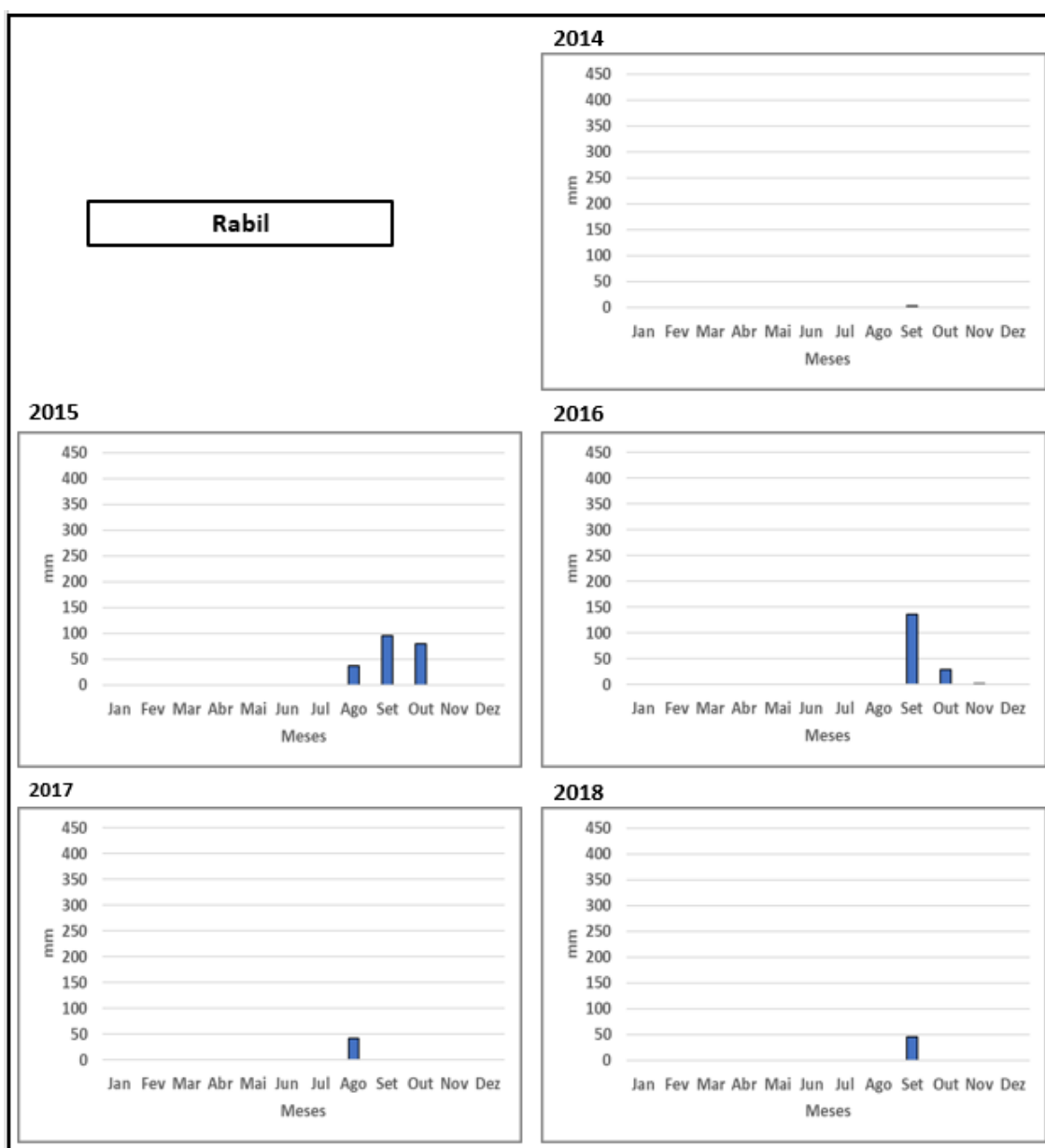


Figura 17: Precipitação mensal observada na estação de Rabil, no período 2014-2018.

Fonte: INMG. Elaboração própria.

Passando a analisar as estações do grupo sotavento do arquipélago, na estação da Vila do Maio, **Figura 18**, os valores da precipitação observada foram relativamente superiores em comparação com as três estações anteriormente analisadas do grupo barlavento (Mindelo, Aeroporto do Sal e Rabil). Os anos que registaram maiores valores precipitação foram, 2015 com 227 mm e 2016 com 212 mm. Nos restantes três anos,

embora com valores mais baixos, houve um equilíbrio nos valores de precipitação (entre 78 e 100,4 mm). A precipitação concentrou-se em três meses (agosto, setembro e outubro) nos anos estudados, não tendo chovido nos meses chuvosos de transição (julho e novembro).

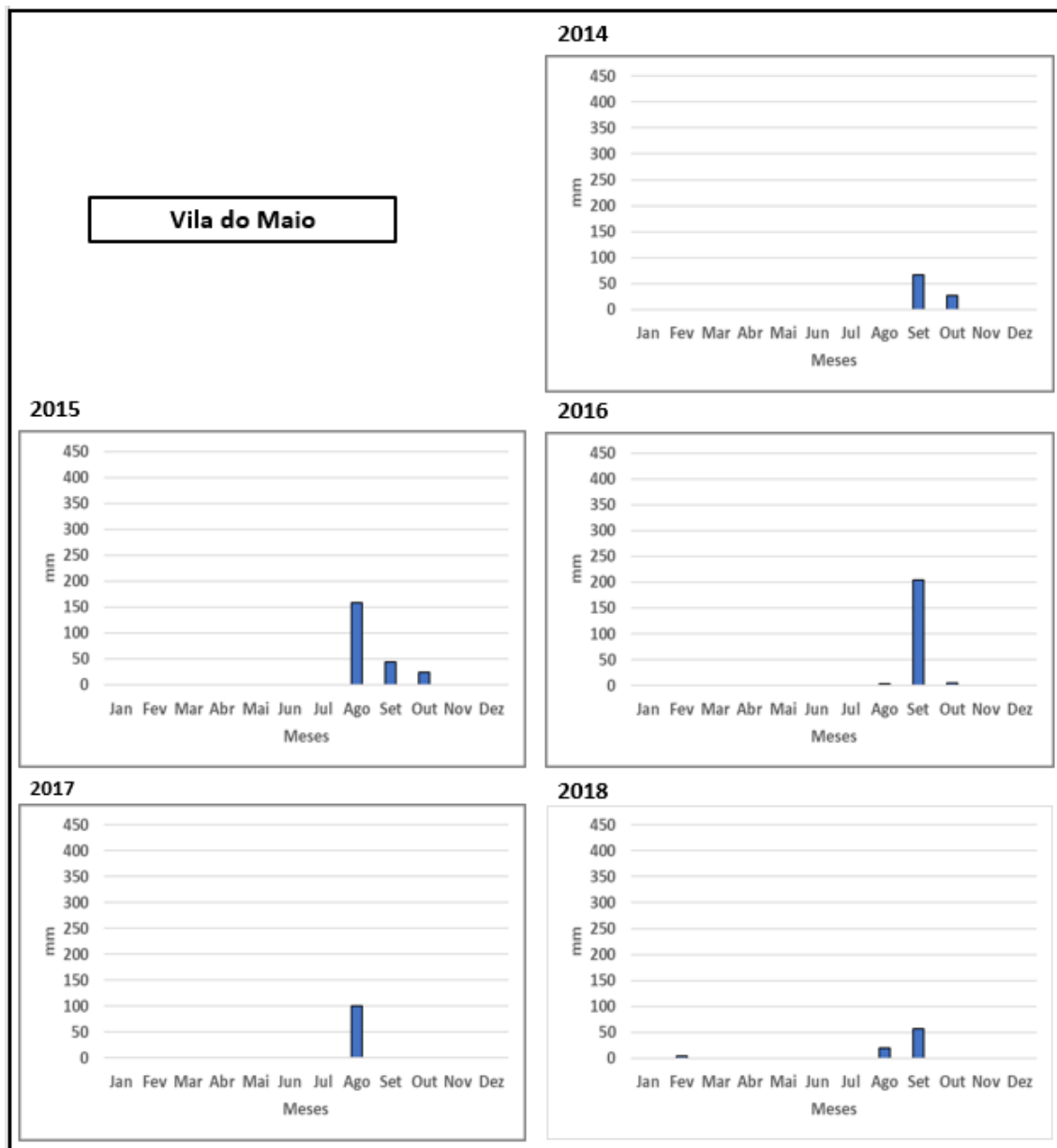


Figura 18: Precipitação mensal observada para estação de Vila do Maio, no período 2014-2018. **Fonte:** INMG. Elaboração própria.

Relativamente à estação do Aeroporto da Praia (**Figura 19**), observaram-se dois anos com precipitação superior a 200 mm (2015 com 379,4 mm e 2016 com 232 mm) e, nos restantes anos, 2017 foi o mais seco, com apenas 70 mm. Os anos 2014 e 2018 tiveram valores de precipitação semelhantes (140 mm para primeiro e 135 mm para o segundo). No geral, o mês de setembro foi sempre o mais chuvoso. No conjunto dos anos analisados, 2017 foi uma exceção, pois foi o único ano em que só choveu apenas num mês, nos restantes choveram em três ou mais meses.

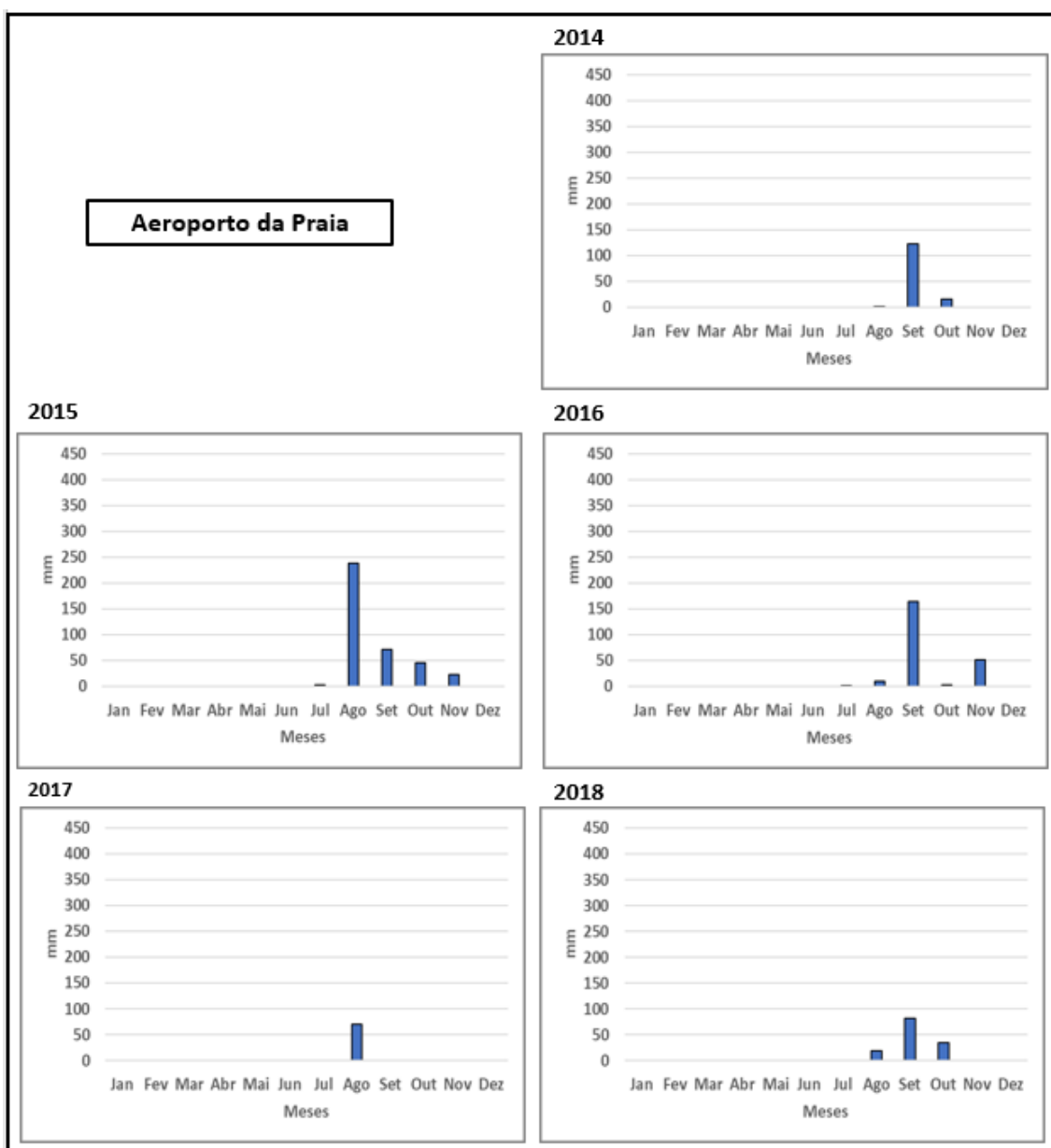


Figura 19: Precipitação mensal observada na estação de Aeroporto da Praia, no período 2014-2018. **Fonte:** INMG. Elaboração própria.

No que diz respeito à estação de São Francisco (ilha de Santiago, **Figura 20**), dada a sua proximidade geográfica à estação da Praia, os dados são, no geral, semelhantes. Os anos mais chuvosos foram 2015 (371,2 mm) e 2016 (230 mm), por outro lado os menos chuvosos foram 2014 (78 mm) e 2017 (103 mm), e o ano 2018 ficou com o valor intermédio de 163 mm. No geral, o setembro foi o mês mais chuvoso.

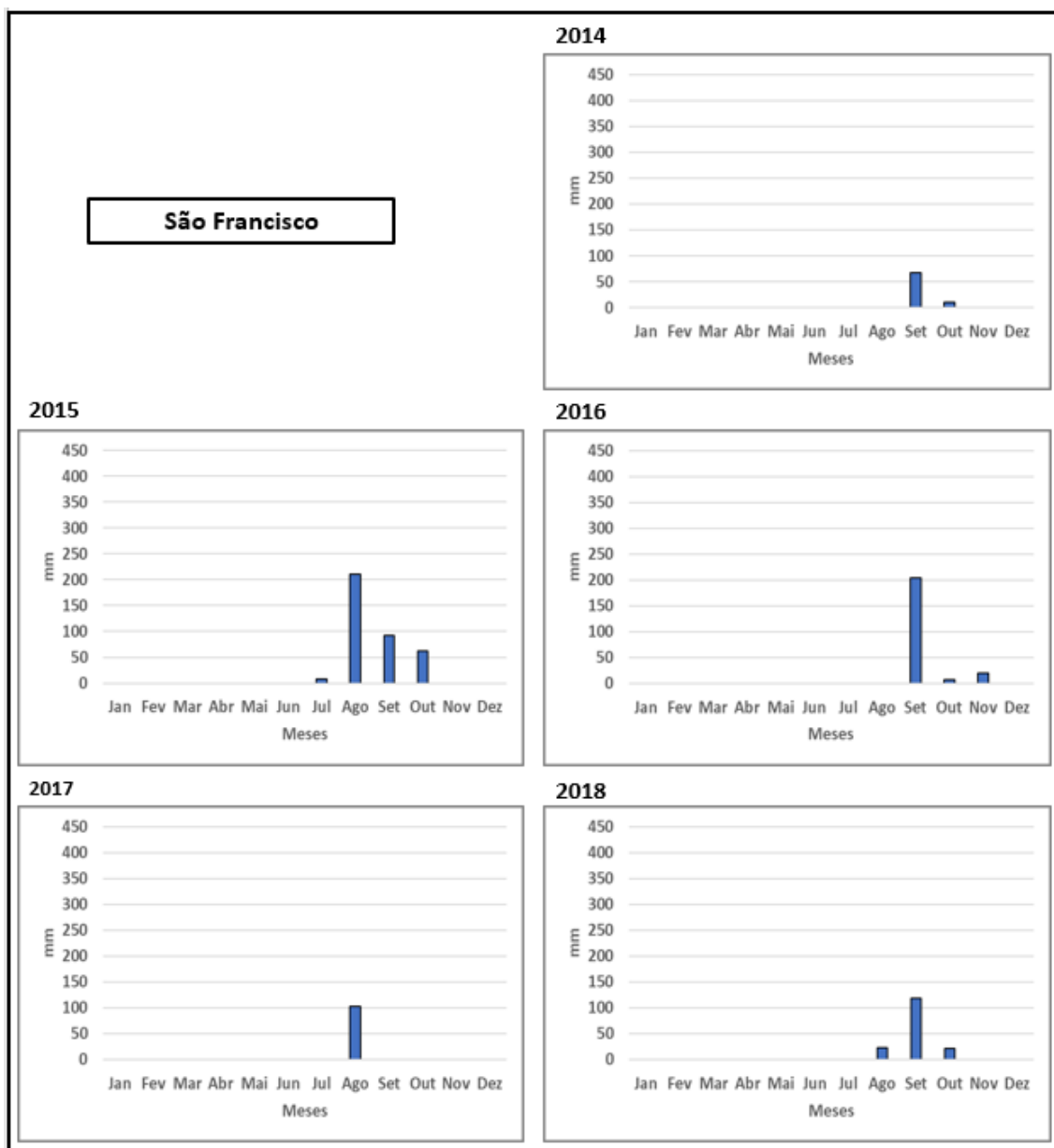


Figura 20: Comportamento interanual da Precipitação mensal observada para estação de São Francisco, no período 2014-2018. **Fonte:** INMG. Elaboração própria.

São Domingos (**Figura 21**) constituiu a segunda estação mais chuvosa, comparativamente à média da precipitação no arquipélago no período de estudo (186,3 mm); No ano mais chuvoso (2015) ultrapassou a marca dos 500 mm, com valores ainda consideráveis nos anos 2016 e 2018, que registaram, respetivamente, 230 e 255 mm. Os dois anos menos chuvosos registaram, individualmente, menos de 200 mm. Setembro foi claramente o mês mais chuvoso, mas também agosto e outubro deram

uma contribuição importante para precipitação total anual. De referir que, em 2015, agosto teve um total de 210 mm, e setembro de 2016 registou 203 mm, contribuindo largamente para que esses dois anos tenham sido os mais chuvosos na estação de São Francisco.

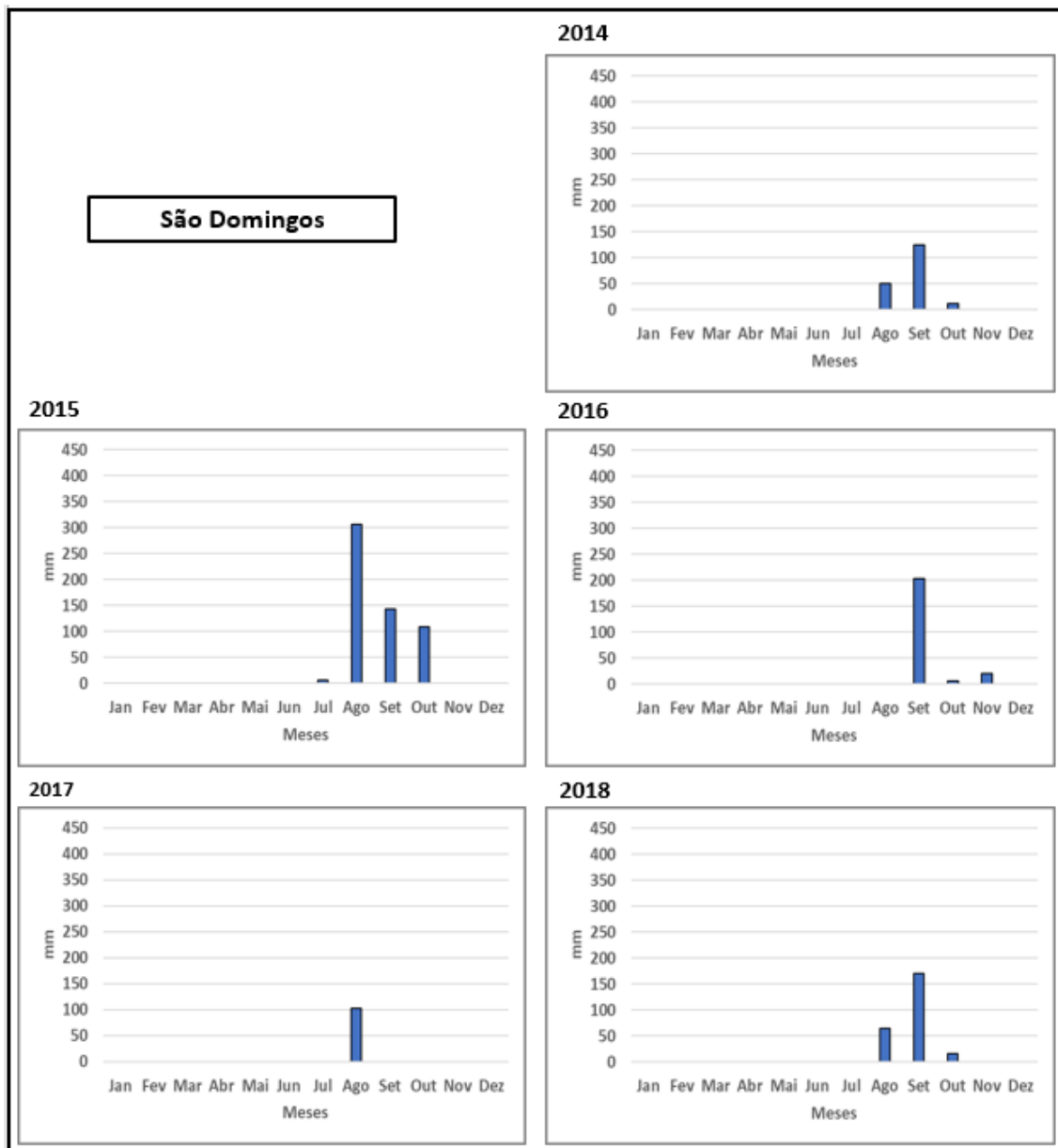


Figura 21: Precipitação mensal observada na estação de São Domingos, no período 2014-2018. **Fonte:** INMG. Elaboração própria.

São Jorge dos Órgãos foi a mais chuvosa das nove estações estudadas neste período (**Figura 22**), com três dos cinco anos com valores anuais superiores a 400 mm. O ano de 2015 em São Jorge dos Órgãos foi o mais chuvoso, com o valor de 998 mm. Os dois anos menos chuvosos foram 2017, com 169 mm, e 2014 com 259 mm. Foi a estação na qual a precipitação do mês de julho assumiu maior significado ao longo dos anos estudados e, diferentemente das outras estações analisadas, registou chuva em meses da estação seca, como em dezembro de 2014, janeiro e fevereiro de 2018. O mês de setembro foi, em geral, o mais chuvoso, seguido do mês de agosto. O ano 2015 teve bastante precipitação nos meses agosto, setembro e outubro, sempre superior a 250 mm em cada um dos meses.

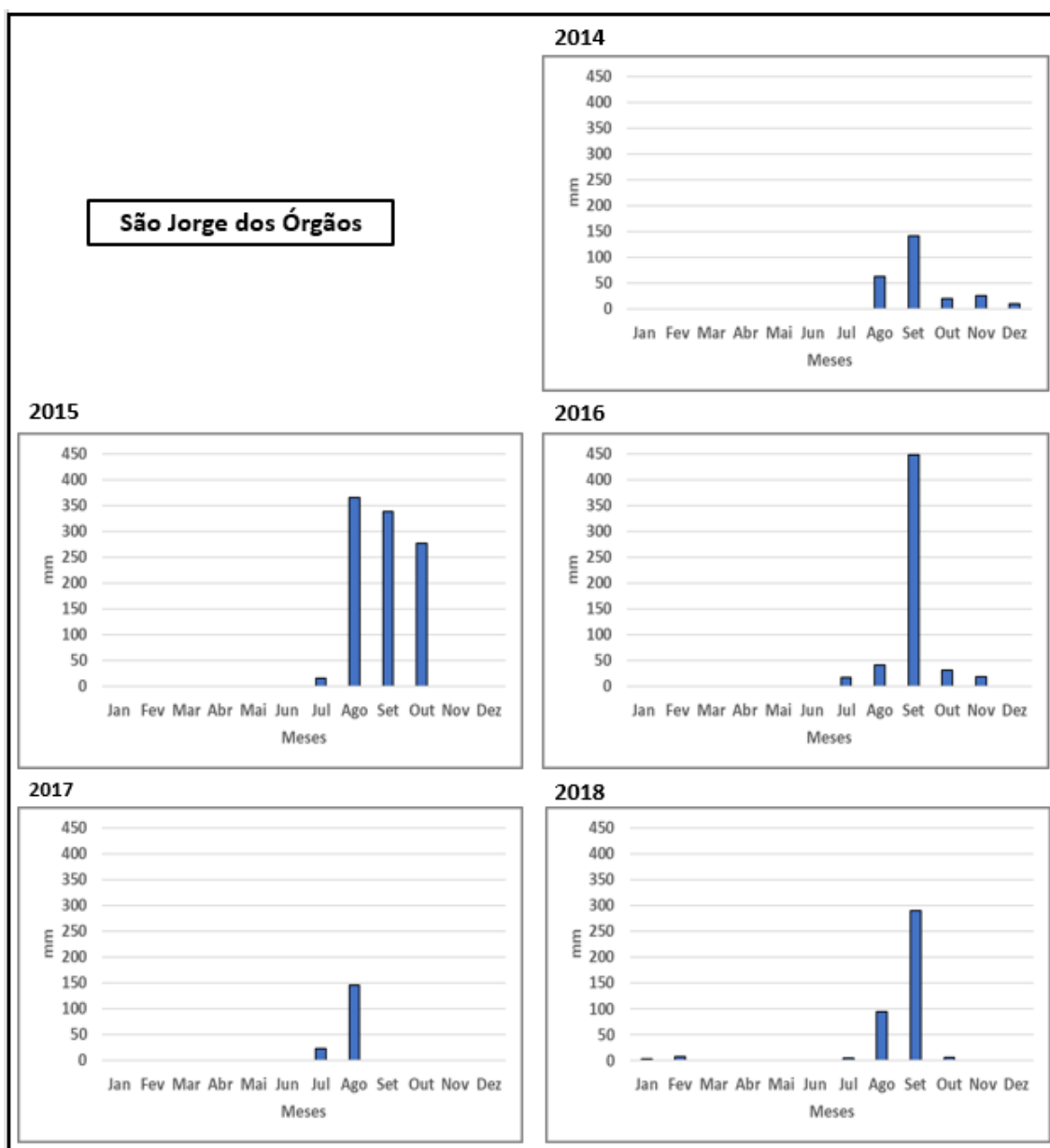


Figura 22: Precipitação mensal observada na estação de São Jorge dos Órgãos, no período 2014-2018. **Fonte:** INMG. Elaboração própria.

São Filipe (Fogo), **Figura 23**, teve um comportamento pluviométrico intermédio entre as estações em estudo, não sendo nem a menos chuvosa, e nem também a mais pluviosa. Os três anos com maiores valores de precipitação têm valores semelhantes, entre 115 a 163 mm. O mês mais chuvoso foi setembro, e o segundo foi agosto, não tendo praticamente ocorrido precipitação nos meses de transição durante o período de estudo (exceto em novembro de 2015 com apenas 1,2 mm).

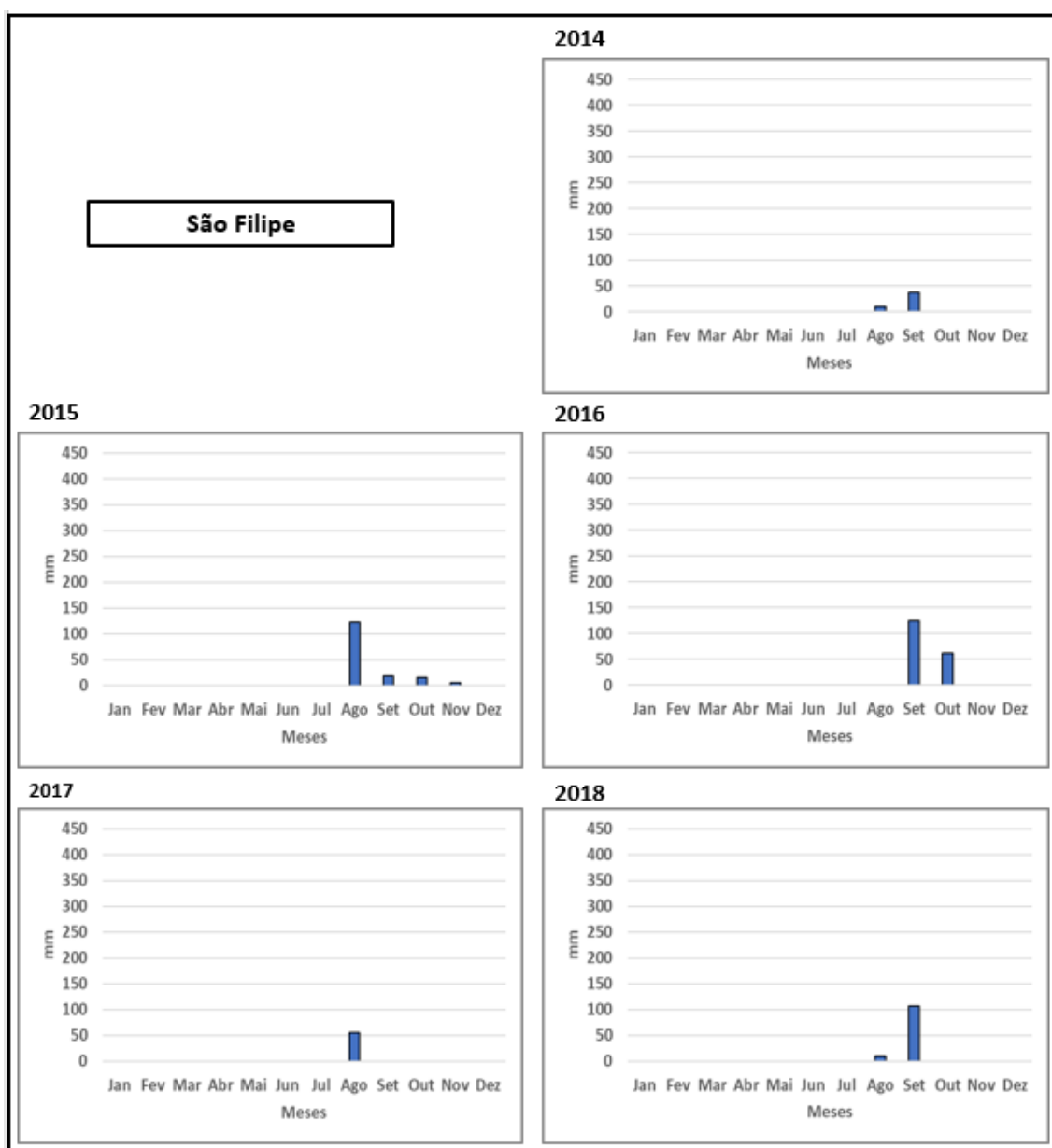


Figura 23: Precipitação mensal observada na estação de São Filipe, no período 2014-2018. **Fonte:** INMG. Elaboração própria.

5.1.3. Precipitações diárias

Relativamente à caracterização da precipitação à escala diária, selecionaram-se os dias em que se registou precipitação superior ou igual a 1 mm, no conjunto total de 1826 dias que compreende o período de estudo (2014-2018). No **Quadro 6** apresentam-se os valores das precipitações máximas diárias (anuais), que mostra para cada ano e estações qual foi o dia em que mais choveu. Podemos constatar que o valor máximo diário de

precipitação no arquipélago (214,7 mm) foi registado na estação de São Jorge dos Órgãos a 08/09/2015. Nos anos 2014 e 2018, os valores de precipitação máxima diária verificaram-se, em todas as estações, no mês de setembro, tendo algumas datas sido coincidentes e outras não. No ano 2015 todas as estações tiveram o seu máximo valor diário no mês de agosto, com exceção das estações do Aeroporto do Sal (outubro) e de São Jorge dos Órgãos (setembro), e o dia em que quatro das nove estações tiveram o seu valor máximo foi 31/08/2015. Para o ano de 2016, sete das nove estações tiveram os seus máximos de precipitação diária no mês de setembro, com exceção para o Aeroporto da Praia (novembro) e São Filipe (outubro), enquanto no ano 2017 todas as estações o registaram em agosto.

No período de estudo de cinco anos, a frequência de dias com precipitação foi espacialmente bastante contrastada, mesmo levando em conta a reduzida extensão do arquipélago. Listando as estações por ordem decrescente de frequência de dias chuvosos, em primeiro lugar surge São Jorge dos Órgãos (126 dias), seguindo-se São Domingos (79 dias), Aeroporto da Praia (56 dias), São Francisco (50 dias), Vila do Maio (39 dias), São Filipe (32 dias), Mindelo (23 dias), Aeroporto do Sal (22 dias) e Rabil (15 dias). Este contraste é bem revelador das condições de aridez mais acentuada que caracterizam as ilhas rasas, comparativamente às ilhas montanhosas, com destaque para Santiago.

No **Quadro 7** pode observar-se a frequência das classes de abundância diária da precipitação consideradas no **subcapítulo 4.4.** A classe que apresentou uma frequência de ocorrência mais expressiva, na generalidade das estações, foi a de precipitação moderada, seguindo-se a classe de precipitação fraca, cabendo à classe de precipitação forte a 3ª importância relativa e, por último a categoria de precipitação extrema. Contudo, deve referir-se que, em média, os dias de precipitação extrema ($P \geq 40$ mm) têm no arquipélago uma ocorrência considerável (15%) o que diz bem do contributo relativo destes dias muito chuvosos para a precipitação total anual.

A frequência média anual de dias com precipitação é representada na **Figura 24**. Constata-se nesta figura que, de facto, ocorrem poucos dias de precipitação em cada uma das estações analisadas. Assim, destaca-se São Jorge dos Órgãos com uma média

de 25,2 dias/ano, enquanto as restantes estações registam, em média, menos de 16 dias/ano, variando entre 3 e 15,8 dias/ano.

A respeito da frequência de dias chuvosos em Santiago, refira-se que Correia (1998a, p. 93) já havia constatado que, com exceção da área da Serra da Malagueta, onde se chegaram a atingir 41 dias de chuvas úteis de precipitação ($P \geq 5$ mm), nas seguintes estações, Curralinho, São Jorge e Assomada a frequência situou-se no intervalo de]25, 32] dias de chuva útil e no resto da ilha (restantes 10 estações) nunca se ultrapassou os 25 dias. Assim, estes resultados da presente investigação vão ao encontro dos de Correia (1998a), que notou a reduzida frequência de dias de precipitação em Santiago, com exclusão das áreas de maior altitude.

Passando a analisar as sequências de dias com precipitação no arquipélago (**Quadro 8**), atesta-se que a sequência mais longa ocorrida foi de nove dias, tendo sido observada em São Jorge dos Órgãos. Como se pode também concluir do **Quadro 8**, na esmagadora maioria dos episódios chuvosos no arquipélago a precipitação não perdura por mais de 3 dias. Sequências chuvosas com duração superior ou igual a cinco dias apenas se verificaram em Santiago (São Jorge dos Órgãos e São Domingos), mesmo aí, em muito escassas ocasiões durante os cinco anos em análise.

Quadro 6: Precipitação máxima diária em cada ano e estação no período de estudo 2014-2018. **Fonte:** INMG. Elaboração própria.

Estação/ano	Precipitação mm	Data
Mindelo		
2014	68,5	24/09/2014
2015	28,7	31/08/2015
2016	64,2	13/09/2016
2017	65,0	28/08/2017
2018	30,9	05/09/2018
Aeroporto do Sal		
2014	90,0	18/09/2014
2015	55,5	20/10/2015
2016	30,0	03/09/2016
2017	66,7	29/08/2017
2018	35,8	14/09/2018
Rabil		
2014	2,3	22/09/2014
2015	96,0	31/08/2015
2016	41,3	14/09/2016
2017	21,2	29/08/2017
2018	40,3	05/09/2018
Vila do Maio		
2014	28,0	19/09/2014
2015	57,0	31/08/2015
2016	52,1	13/09/2016
2017	56,8	29/08/2017
2018	28,9	26/09/2018
Aeroporto da Praia		
2014	65,0	21/09/2014
2015	57,0	21/08/2015
2016	52,1	17/11/2016
2017	56,8	28/08/2017
2018	28,9	05/09/2018
São Francisco		
2014	37,0	19/09/2014
2015	55,0	21/08/2015
2016	47,0	13/09/2016
2017	80,0	28/08/2017
2018	75,0	05/09/2018
São Domingos		
2014	33,2	18/09/2014
2015	65,4	30/08/2015
2016	47,0	13/09/2016
2017	80,0	28/08/2017
2018	86,3	04/09/2018
São Jorge dos Órgãos		
2014	42,2	19/09/2014
2015	214,7	08/09/2015
2016	104,7	02/09/2016
2017	71,8	28/08/2017
2018	88,2	03/09/2018
São Filipe		
2014	23,0	24/09/2014
2015	65,0	31/08/2015
2016	43,0	27/10/2016
2017	23,1	21/08/2017
2018	54,3	09/09/2018

Quadro 7: Classificação da precipitação diária para cada estação no período de estudo 2014-2018. **Fonte:** INMG. Elaboração própria.

Estações	Nº de dias				
	Sem prec.	Prec. fraca	Prec. moderada	Prec. forte	Prec. extrema
Mindelo	1803	3	13	2	5
Aeroporto do Sal	1804	9	3	6	4
Rabil	1811	3	1	7	4
Vila do Maio	1787	9	18	6	6
Aeroporto da Praia	1770	18	17	15	6
São Francisco	1776	12	21	9	8
São Domingos	1747	24	35	9	11
São Jorge dos Órgãos	1700	46	48	14	18
São Filipe	1794	6	15	7	4

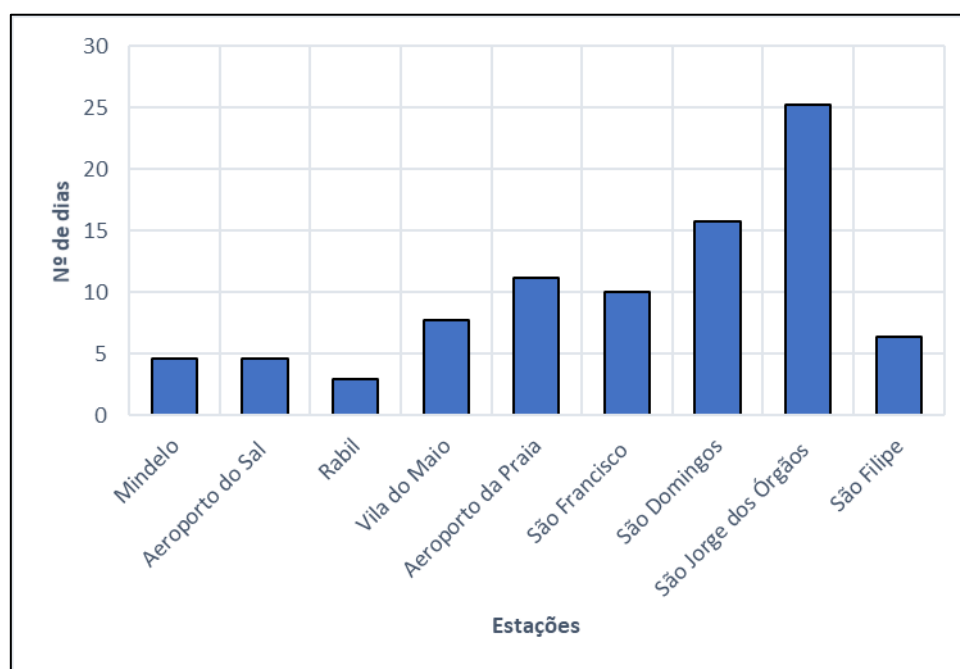


Figura 24: Número médio anual de dias com precipitação em cada estação, no período 2014-2018. **Fonte:** INMG. Elaboração própria.

Quadro 8: Duração e número de sequências chuvosas para cada estação no período 2014-2018. **Fonte:** INMG. Elaboração própria.

	Duração de sequências chuvosas (dias)							
	Dois	Três	Quatro	Cinco	Seis	Sete	Oito	Nove
Mindelo		3						
Aeroporto do Sal	2							
Rabil	2							
Vila do Maio	1	4						
Aeroporto da Praia	9	3	1					
São Francisco	6	5						
São Domingos	5	8	2	1		2		
São Jorge dos Órgãos	17	5	5	1	1			1
São Filipe	1	1						

? Nº de sequências

Em resumo, as observações da precipitação no arquipélago nos cinco anos em estudo revelaram que os anos mais chuvosos foram 2015 e 2016; Os valores de precipitação observados são mais baixos nas estações das ilhas do barlavento em comparação às do sotavento; a estação de São Jorge dos Órgãos regista valores anuais bastante superiores à média da precipitação do arquipélago; os meses do ano em que ocorre precipitação mais abundante são setembro - o mês em que mais chove em praticamente todas estações - seguido de agosto e depois por outubro; no arquipélago cerca de 97,7% da precipitação observada verificou-se na estação chuvosa e 51,4% no mês de setembro; pôde ainda verificar-se que a média anual do nº de dias com precipitação é bastante reduzida, tendo a maioria das estações registado menos de 15 dias chuvosos por ano.

5.2. Avaliação da qualidade da precipitação estimada IMERG (2014-2018)

Pode-se ver que, no geral, o Sul do arquipélago recebe mais precipitação (estimada) que o Norte (**Figuras 25, 26, 27, 28, 29 e 30**), tal como se já se tinha descrito em relação à precipitação observada. Considerando toda a área cartografada nestes mapas, constata-se que, fora das ilhas, nas águas nacionais caboverdianas, se observam áreas oceânicas com mais precipitação que nas ilhas. Os anos mais chuvosos foram 2015 e 2016, com os restantes anos a registar precipitação anual abaixo de 340 mm (toda a área de Cabo

Verde, incluindo as águas nacionais). Para as ilhas e as estações em estudo, os anos mais chuvosos foram 2015 (**Figura 27**) e 2016 (**Figura 28**), em contrapartida o ano menos chuvoso foi 2018 (**Figura 30**). Os anos com menores contrastes espaciais entre os valores mínimos e máximos de precipitação estimada entre as estações em estudo foram 2014 e 2018, em contrapartida o ano com maiores discrepância desses valores foi 2015.

No **subcapítulo 4.4**, foi explicado em detalhe em que consiste a sobrestimação e subestimação da precipitação. Nos cinco anos do período de estudo, houve dois casos de subestimação da precipitação (2014 e 2018) e três casos de sobrestimação (2015, 2016 e 2017) como podemos ver na **Figura 31**. Embora haja sobrestimações e subestimações de precipitação ao longo do período de estudo, os valores de precipitação estimada, seguem a tendência dos valores observados, isto é, quando de um ano para outro, a precipitação observada aumenta, a precipitação estimada acompanha-a, e quando diminui o valor o mesmo acontece.

Considerando a maneira como os valores médios da precipitação (observada e estimada) se comportaram ao longo dos meses, no período de estudo, **Figura 32**, verificamos sobrestimação para os seguintes meses: janeiro, fevereiro, março, abril, outubro, novembro e dezembro. A subestimação aconteceu nos meses de julho, agosto e setembro, e ainda com correspondência exata, ou seja, não houve registo de precipitação (observada e estimada) nos meses de maio e junho. As subestimações com valores mais relevantes foram para dois dos meses mais chuvosos do ano (agosto e setembro) enquanto nos meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março, abril e maio o valor médio estimado de precipitação foi sempre superior à média das observações.

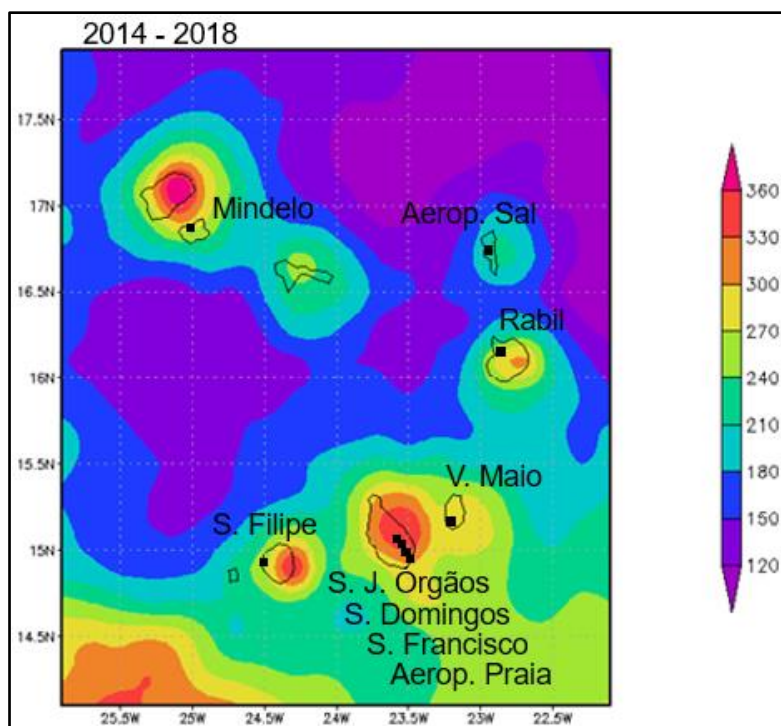


Figura 25: Precipitação média anual estimada GPM-IMERG no período 2014-2018.

Fonte: *Climate explorer*. Elaboração própria.

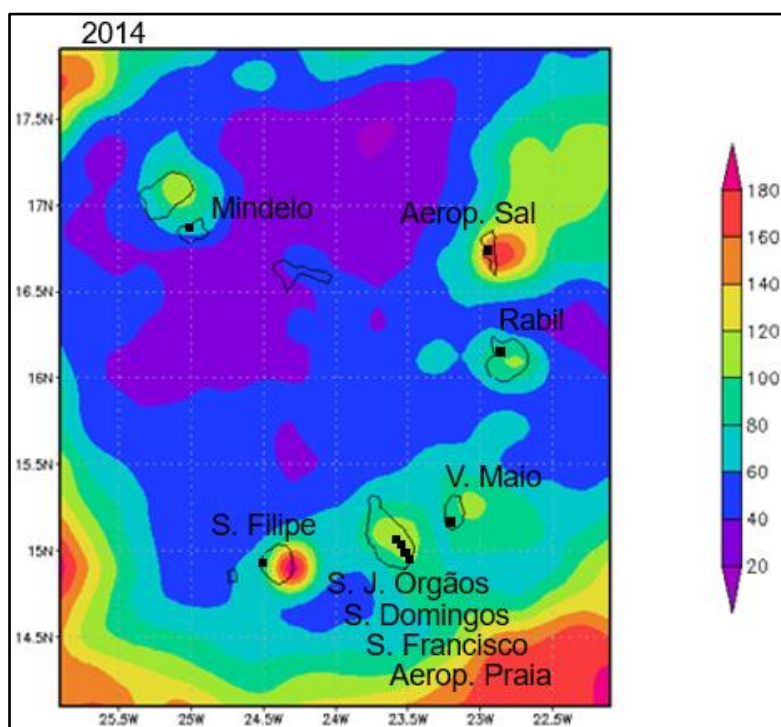


Figura 26: Precipitação total estimada GPM-IMERG no ano 2014. **Fonte:** *Climate explorer*. Elaboração própria.

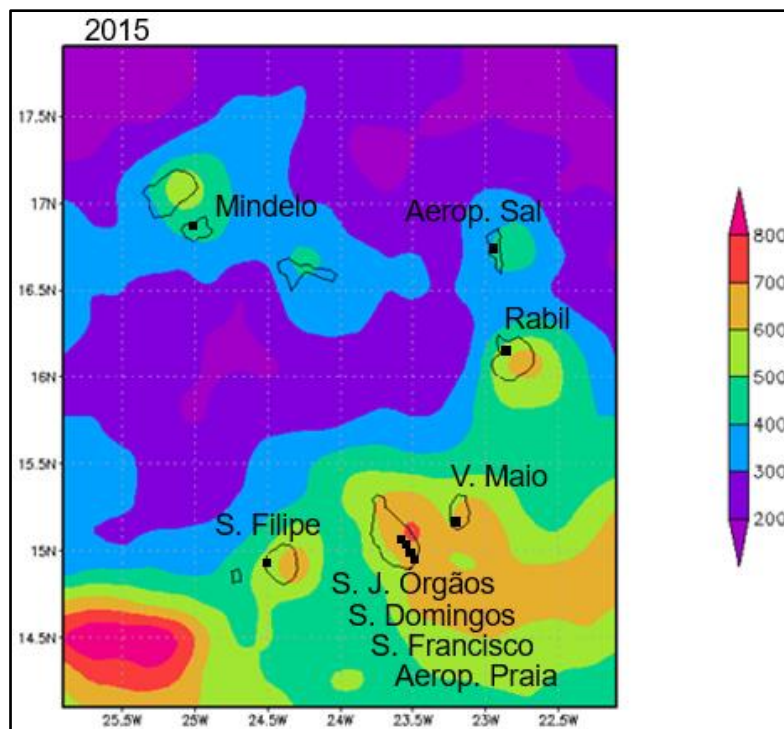


Figura 27: Precipitação total estimada GPM-IMERG no ano 2015. **Fonte:** *Climate explorer*. Elaboração própria.

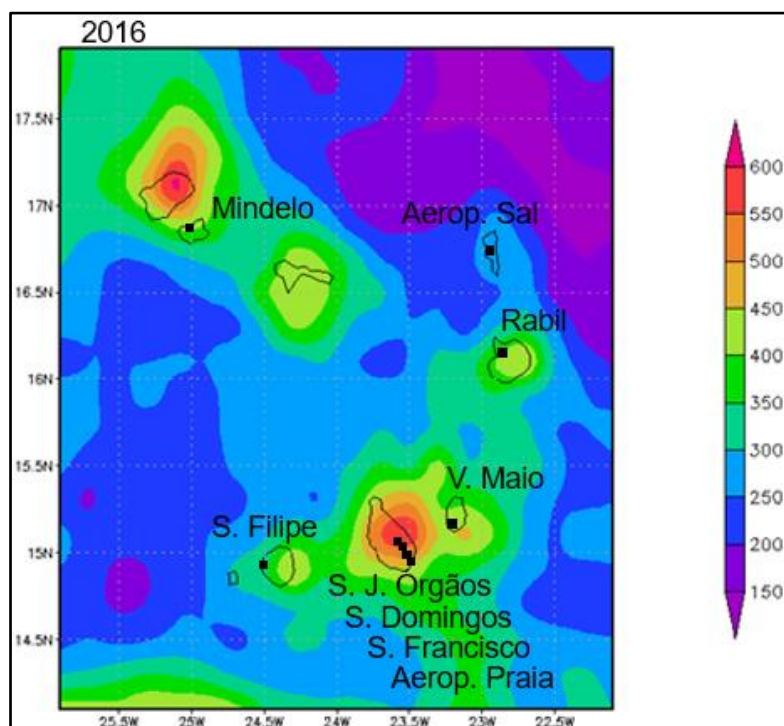


Figura 28: Precipitação total estimada GPM-IMERG no ano 2016. **Fonte:** *Climate explorer*. Elaboração própria.

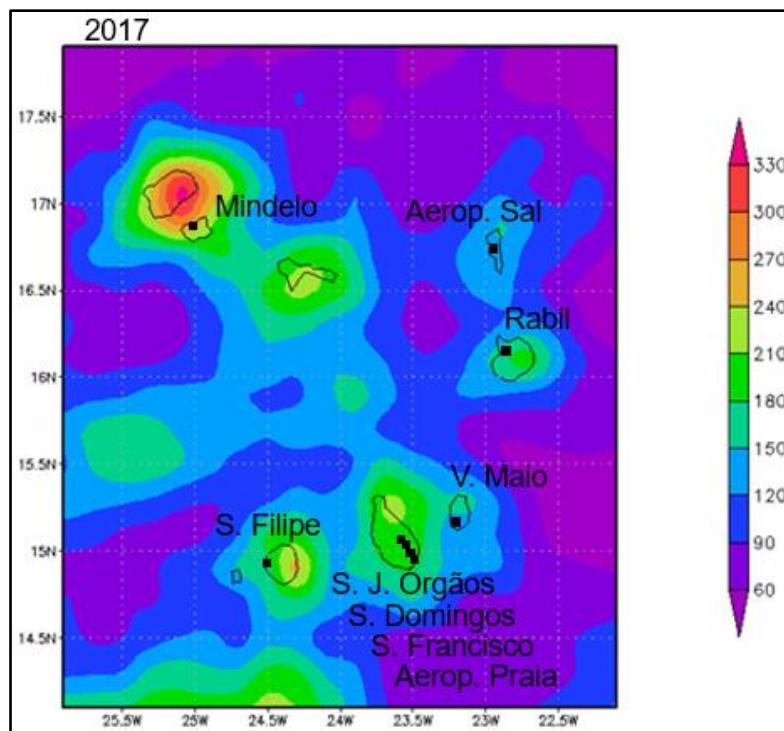


Figura 29: Precipitação total estimada GPM-IMERG no ano 2017. **Fonte:** *Climate explorer*. Elaboração própria.

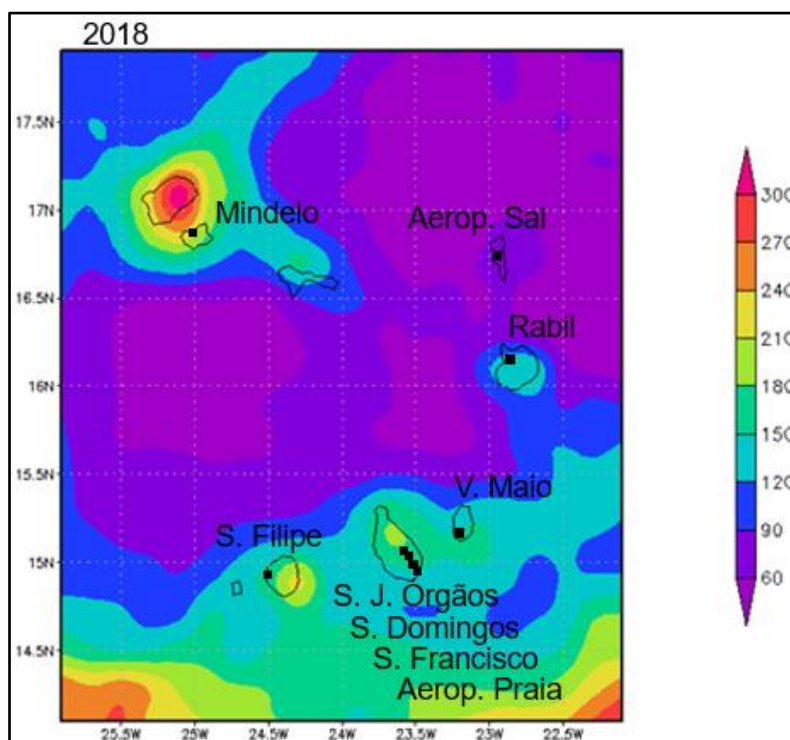


Figura 30: Precipitação total estimada GPM-IMERG no ano 2018. **Fonte:** *Climate explorer*. Elaboração própria.

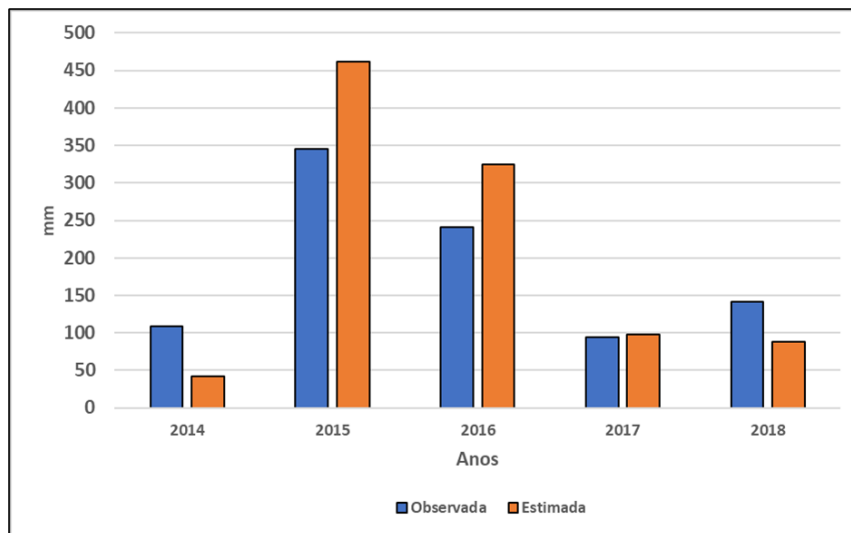


Figura 31: Variação anual da precipitação média observada e estimada (GPM-IMERG) no arquipélago no período 2014-2018. **Fonte:** INMG (observada) e NASA (estimada).

Elaboração própria.

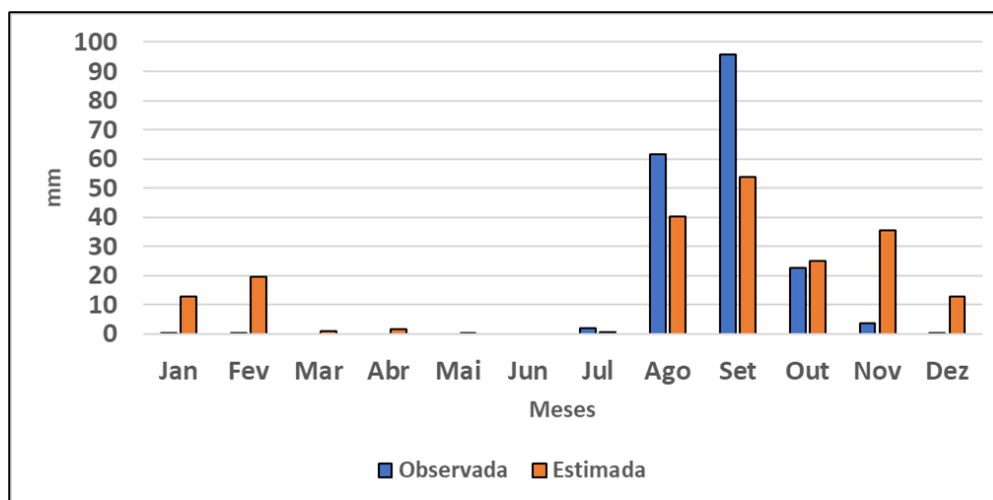


Figura 32: Comportamento da precipitação média observada e estimada (GPM-IMERG) ao longo do ano, no arquipélago, para o período 2014-2018. **Fonte:** INMG (observada) e NASA (estimada). Elaboração própria.

5.2.1 Precipitações anuais (comparação observações/estimativas)

5.2.1.1. Erro médio anual (período de estudo)

À escala anual, ilustram-se na **Figura 33**, os valores do erro médio resultantes após a aplicação da fórmula (**Equação 1**).

Desta forma, há três situações possíveis na classificação deste erro: sobrestimação da precipitação quando os valores são positivos, subestimação da precipitação quando os valores são negativos e ótimo que é quando os valores são nulos. Para os cinco anos do período de estudo, temos erros médios positivos (sobrestimação da precipitação) para os anos 2015, 2016 e 2017 e erros médios negativos (subestimação da precipitação) para anos 2014 e 2018. O ano com o valor do erro médio mais próximo do ótimo (perfeição) é o 2017.

Assim, os valores de sobrestimação e subestimação ao longo dos anos, acabaram por resultar num valor do erro médio anual do período de estudo de 1,5 mm, o que, no geral, é bastante aceitável. Listando por ordem decrescente os valores dos erros positivos: 2015 (9,7 mm), 2016 (6,9 mm) e 2017 (0,3 mm). A ordem os valores dos erros negativos são: 2014 (-5 mm) e 2018 (-4,4 mm).

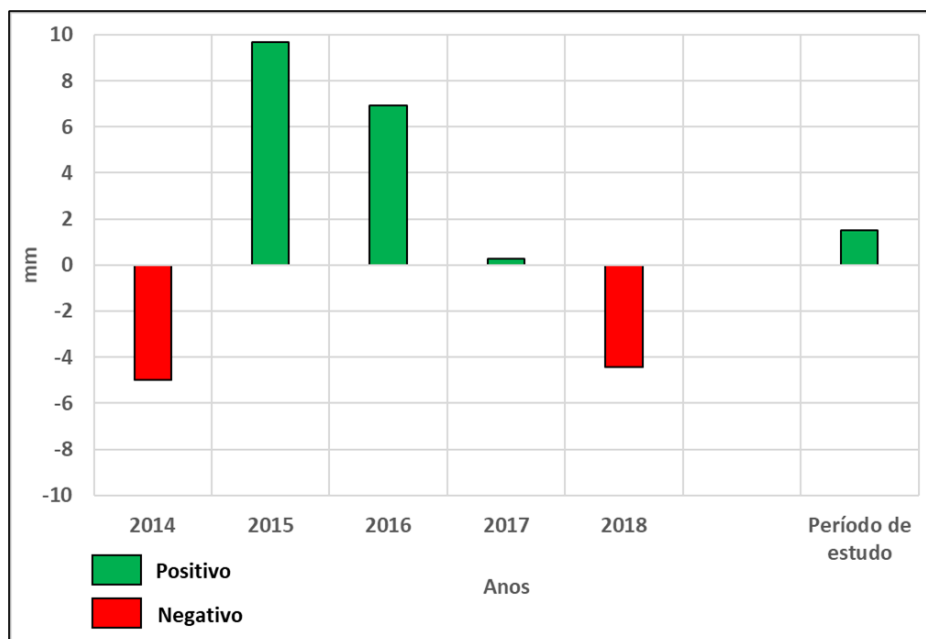


Figura 33: Erro médio anual da precipitação estimada (GPM-IMERG) no arquipélago, no período 2014-2018. **Fonte:** INMG (observada) e NASA (estimada). Elaboração própria.

5.2.2. Precipitações mensais (comparação observações/estimções)

5.2.2.1. Erro médio mensal (período de estudo)

À escala mensal, os valores do erro médio resultantes após a aplicação da fórmula (**Equação 1**) apresentam-se na **Figura 34**. Deste modo, há três casos possíveis na classificação deste erro: sobrestimação da precipitação quando os valores são positivos, subestimação da precipitação quando os valores são negativos e ótimo quando os valores do erro médio são nulos.

A natureza dos erros nos vários meses tomou vários sentidos:

- A perfeição ou o ótimo, confirmada no mês de junho;
- Com valores próximo do ideal (zero), compreendendo ligeiras sobrestimações (março, abril, maio e outubro) ou ligeira subestimação (junho);

- Maiores sobrestimações verificaram-se nos meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro;
- Dois meses tiveram valores de subestimações consideráveis, agosto e setembro.

De salientar que, no seu conjunto, estes valores de sobrestimação e subestimação ao longo dos meses acabaram por ajustar um valor global do erro médio mensal no período de estudo de 1,4 mm, o que se afigura bastante satisfatório.

Listando por ordem decrescente os valores dos erros médios positivos: novembro (31,7 mm), fevereiro (19,4 mm), dezembro (12,6 mm), janeiro (12,6 mm), outubro (2,3 mm), março (0,9 mm), maio (0,03 mm). Com o valor nulo temos um único mês, com já referido acima (junho). A correspondente ordem dos valores dos erros médios negativos são: setembro (-41,9 mm), agosto (-21,4 mm) e julho (-1,4 mm).

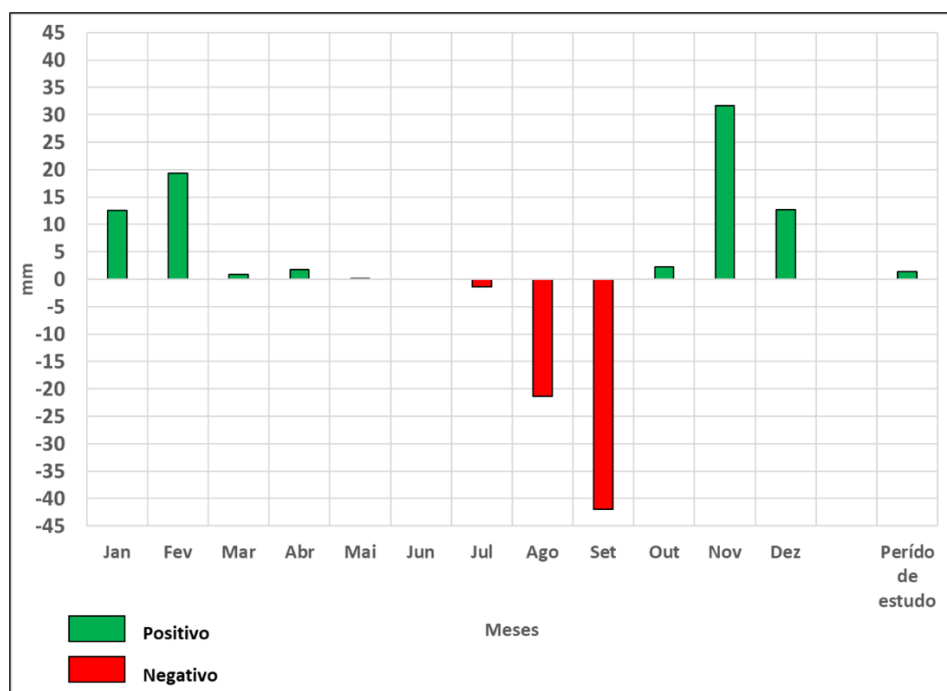


Figura 34: Erro médio mensal da precipitação estimada (GPM-IMERG) no arquipélago, no período 2014-2018. **Fonte:** INMG (observada) e NASA (estimada). Elaboração própria.

5.2.2.2. Índice de eficiência de Kling–Gupta (KGE) das precipitações mensais estimadas

O Índice de Eficiência Kling-Gupta, utilizado por Satgé *et al.* (2020), obtém-se através de uma equação (**Equação 7**) que combina três variáveis, sendo elas o coeficiente de correlação de Pearson (r), o viés (β) e o rácio de variabilidade (γ). O KGE e as variáveis que o compõem têm os seus ótimos no valor 1 (**Figura 35**).

Iniciando pela análise dos resultados de correlação de Pearson (r), refira-se que, por exemplo Cohen (1988), optou por uma classificação em três classes: entre [0,10, 0,29] correlação fraca, entre [0,30, 0,49] correlação moderada e [0,50, 1] correlação forte. Na presente investigação optou-se por adaptar essa classificação acrescentando maior detalhe, adotando-se 5 classes, sendo elas: correlação muito fraca [0, 0,20], correlação fraca [0,20, 0,40], correlação moderada [0,40, 0,60], correlação forte [0,60, 0,80] e correlação muito forte [0,80, 1]. Na maioria das estações em estudo obteve-se uma correlação forte [0,60, 0,80] tanto para a precipitação mensal, como relativamente aos meses da estação chuvosa em específico, com as seguintes exceções: Aeroporto da Praia com correlação muito forte para a precipitação mensal na estação chuvosa, Rabil com correlação moderada [0,40, 0,60] tanto para a precipitação mensal como para a precipitação mensal na estação chuvosa e Mindelo, com correlação moderada [0,40, 0,60] para precipitação mensal.

No que diz respeito ao viés (β), os seus valores indicam se houve sobrestimação (valor superior a 1) ou subestimação (valor inferior a 1) da precipitação. O ótimo acontece se a média da precipitação estimada é igual à média da precipitação observada. No geral, os dados estimados da precipitação mensal na estação chuvosa apresentam melhores resultados que os dados de precipitação mensal. A estação de São Domingos tem o melhor resultado, quase obtendo o valor ótimo, em contrapartida os piores resultados verificaram-se em relação às estações de São Jorge dos Órgãos, com subestimação da precipitação e para a estação de Aeroporto de Sal com sobrestimação da precipitação. As restantes estações têm sobrestimação da precipitação, sendo mais evidente na precipitação mensal. De referir ainda três estações que apresentaram bons resultados

na estimação da precipitação mensal na estação chuvosa, sendo elas São Francisco, Aeroporto da Praia e Mindelo.

São poucas as estações com valores de rácio de variabilidade superior a 1, com destaque para a estação de São Jorge com valores de rácio superiores ao ótimo para os dados mensais e mensais na estação chuvosa. As estações de São Domingos, São Francisco e Aeroporto da Praia têm os valores mensais próximos do ótimo. As restantes situações para todas as estações, são valores inferior ao ótimo, variando no intervalo $[0,5, 1]$.

Em relação aos valores de KGE, os mesmos variam de $-\infty$ a 1 segundo Franco *et al.* (2017), sendo 1 o valor ideal), e algumas estações apresentam resultados bastante positivos e interessantes, sendo os melhores os obtidos para os dados da precipitação na estação chuvosa. Levando em conta que o índice varia no intervalo $]-\infty, 1]$, e os resultados obtidos encaixam no intervalo $[-0,5, 1]$, consideraram-se três classes para a classificação do KGE, sendo elas: Eficiência fraca $[-0,5, 0]$, eficiência moderada $]0, 0,5]$ e eficiência forte $]0,5, 1]$. Três estações registaram eficiência forte tanto para a precipitação mensal como para a precipitação mensal na estação chuvosa (Aeroporto da Praia, São Francisco e São domingos), enquanto as estações de Mindelo e Vila do Maio registaram eficiência moderada para a precipitação mensal e eficiência forte para a precipitação mensal na estação chuvosa. A estação de São Filipe registou eficiência moderada para ambos os dados (mensal e mensal na estação chuvosa). As estações de Rabil e São Jorge dos Órgãos registaram eficiência fraca para os dados de precipitação mensal e a classificação de eficiência moderada e quanto aos dados de precipitação mensal na estação chuvosa. E, por último, a estação do Aeroporto do Sal registou eficiência fraca tanto para a precipitação mensal como para a mensal na estação chuvosa.

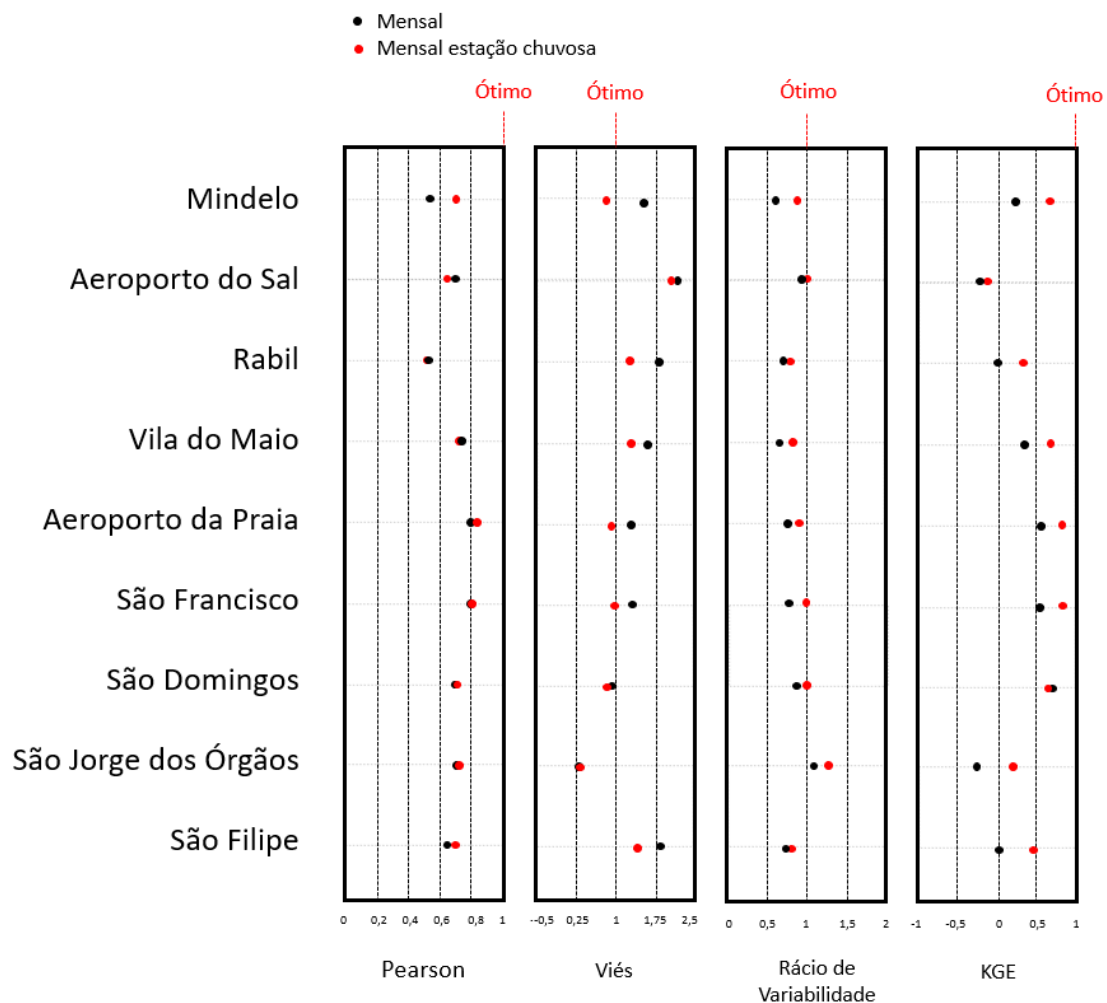


Figura 35: *Kling–Gupta Efficiency* (KGE) e os índices necessários para a sua obtenção (Pearson, viés e rácio de variabilidade) mensal, para cada estação, no período 2014-2018. **Fonte:** INMG (observada) e NASA (estimada). Elaboração própria.

5.2.2.3. Gráficos de dispersão das precipitações mensais

Os gráficos de dispersão elaborados representam a relação entre dados observados e estimados, e os seus princípios de construção foram explicados no **subcapítulo 4.2.1.2.** e na **Equação 4.** A nuvem de pontos que aparece nos gráficos define os eixos ou direções que caracterizam o padrão de relacionamento entre variável observada (x) e estimada (y).

Começar-se-á, primeiramente, por referir os resultados do coeficiente de determinação (r^2), que é um indicador utilizado para medir a qualidade da regressão, como se explicou no **subcapítulo 4.2.1.2.**, indicando a percentagem de variância da precipitação observada que é explicada pela precipitação estimada. Os valores obtidos do coeficiente de determinação estão longe do seu ótimo, e todas as estações registam percentagens de explicação inferiores a 65%. Assim, listando por ordem decrescente do valor em percentagem de r^2 temos Aeroporto da Praia (64%), São Francisco (62,4%), Vila do Maio (57,9%) São Jorge dos Órgãos (56,9%), São Domingos (50%), Aeroporto do Sal (45,7%), São Filipe (41,2%) Mindelo (30,9%) e Rabil (29,3%). Estes baixos valores percentuais são explicados por nuvens de pontos correspondentes a valores de precipitação estimada e observada (**Figura 36** e **Figura 37**), que em muitos casos correspondem a falhas e falsos alarmes (ver o significado na legenda dos gráficos de dispersão), e também incluem muitos valores que são considerados sucessos, mas onde, apesar da correspondência positiva (precipitação em simultâneo no estimado e observado), há sobrestimações ou subestimações da precipitação.

Nota: A percentagem do valor r^2 , corresponde à da variável dependente que é explicada pelo modelo de regressão; O número de ocorrências de precipitação tem unidade temporal mes(es).

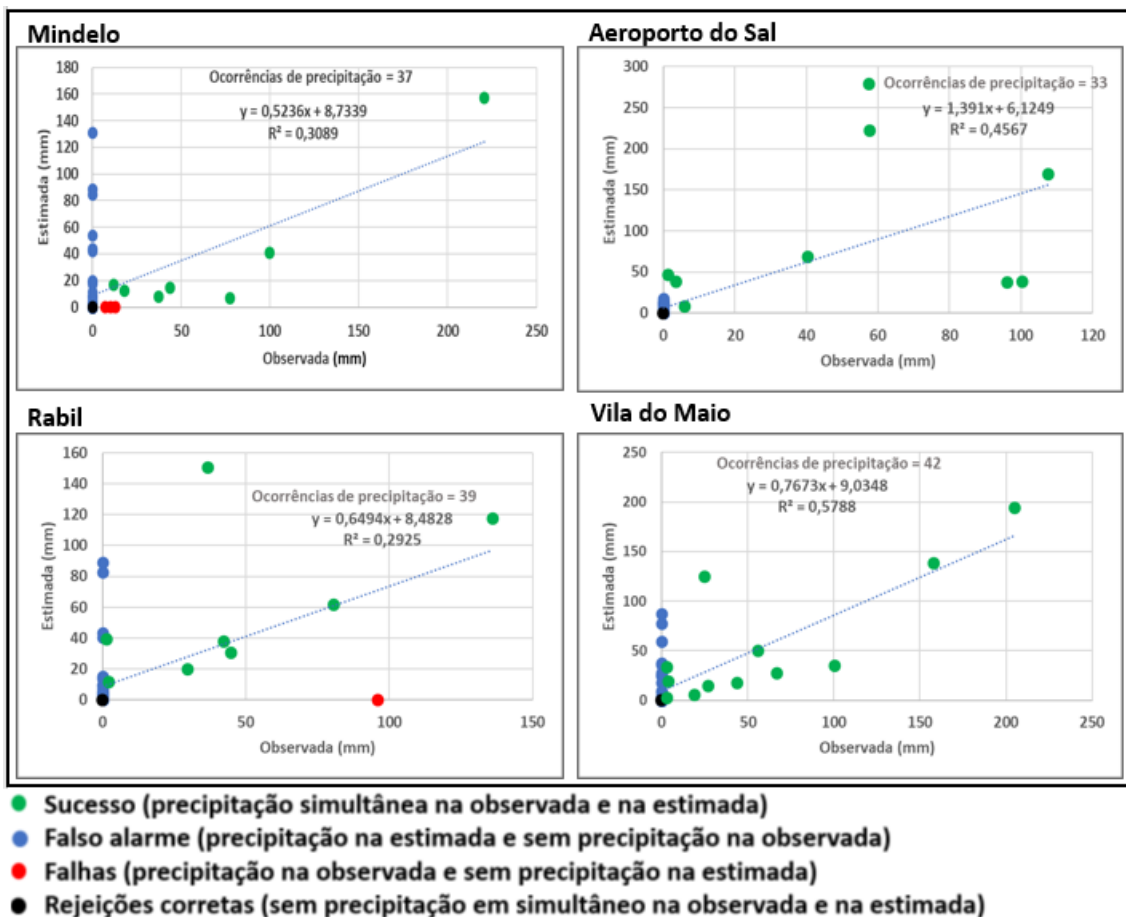
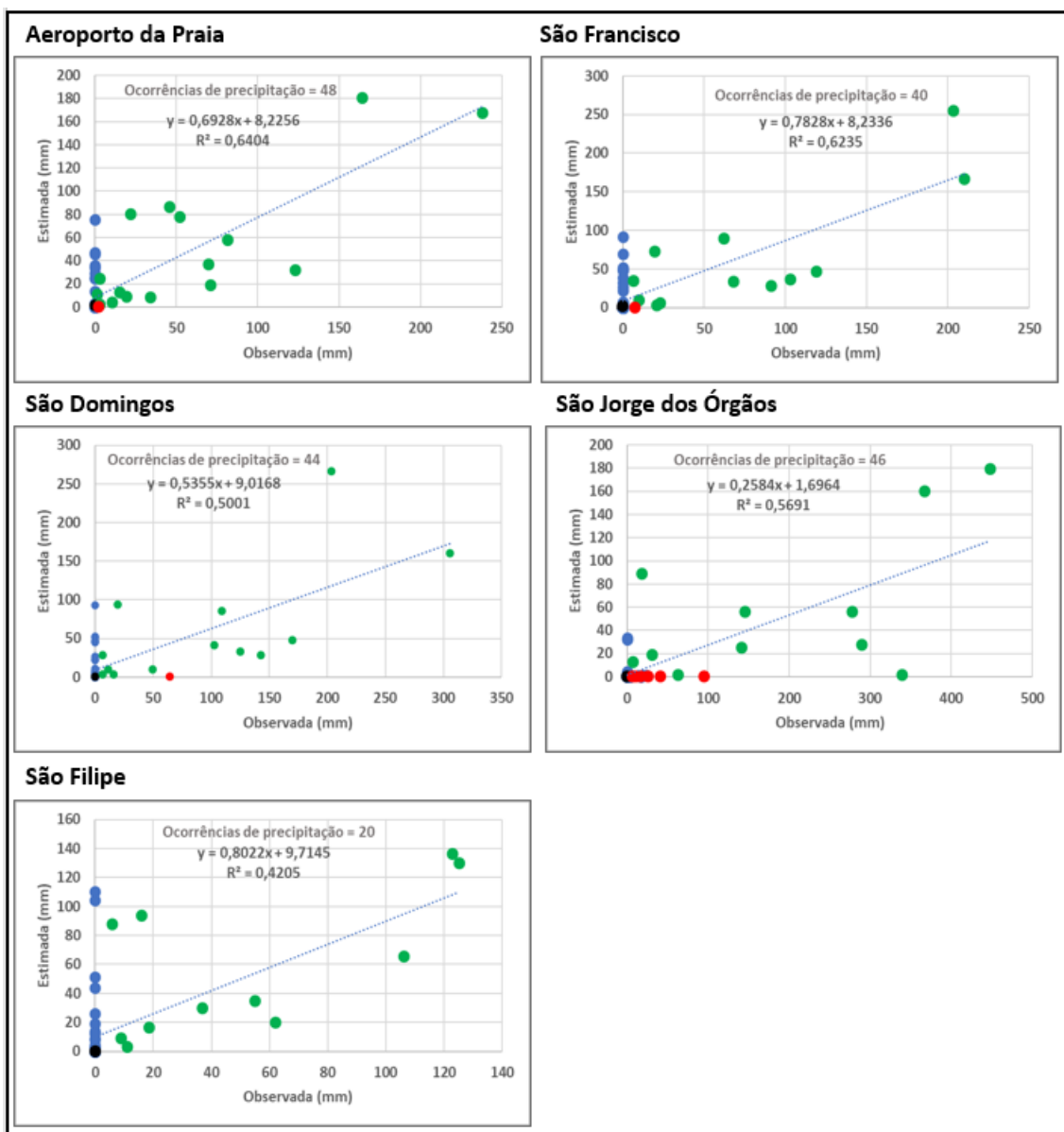


Figura 36: Dispersão dos valores mensais de precipitação observada e estimada, para cada estação, no período 2014-2018. **Fonte:** INMG (observada) e NASA (estimada).

Elaboração própria.



- Sucesso (precipitação simultânea na observada e na estimada)
- Falso alarme (precipitação na estimada e sem precipitação na observada)
- Falhas (precipitação na observada e sem precipitação na estimada)
- Rejeições corretas (sem precipitação em simultâneo na observada e na estimada)

Figura 37: Dispersão dos valores mensais da precipitação observada e estimada, para cada estação, no período 2014-2018. **Fonte:** INMG (observada) e NASA (estimada).

Elaboração própria.

5.2.3. Precipitações diárias (comparação observações/estimações)

5.2.3.1. Erro médio diário (período de estudo)

À escala diária, de acordo com a **Figura 38**, os valores do erro médio resultantes após aplicação da fórmula (**Equação 1**), permitiram criar um intervalo de $[-1, 1]$ mm, de modo a melhor representar esses valores. Os valores positivos estão relacionados com sobrestimação da precipitação, os valores negativos estão relacionados a subestimação da precipitação, enquanto o valor nulo representaria uma estimativa perfeita.

O valor do erro médio diário obtido com o conjunto das estações do arquipélago analisadas foi bastante aceitável (0,05 mm), quase na perfeição. Com sete estações com valores do erro médio positivos e duas com valores negativos, o conjunto geral resultante para o arquipélago foi um erro médio diário baixo. Os erros positivos, por estações, têm a seguinte ordem decrescente dos valores: Mindelo (0,3 mm), São Filipe (0,26 mm), Vila do Maio (0,21 mm), Rabil (0,2 mm), São Francisco (0,16 mm), Mindelo (0,15 mm) e Aeroporto da Praia (0,11 mm). Os erros médios negativos aconteceram na seguinte ordem: São Jorge dos Órgãos (-0,91 mm) e São Domingos (-0,04 mm); estas duas estações, apesar da subestimação da precipitação, têm o melhor e o pior resultado entre as nove estações. No geral, os erros médios das estações em estudo são baixos, variando de estação para estação, mas nunca ultrapassando as marcas médias diárias de 0,5 mm (sobrestimação) ou -1 mm (subestimação).

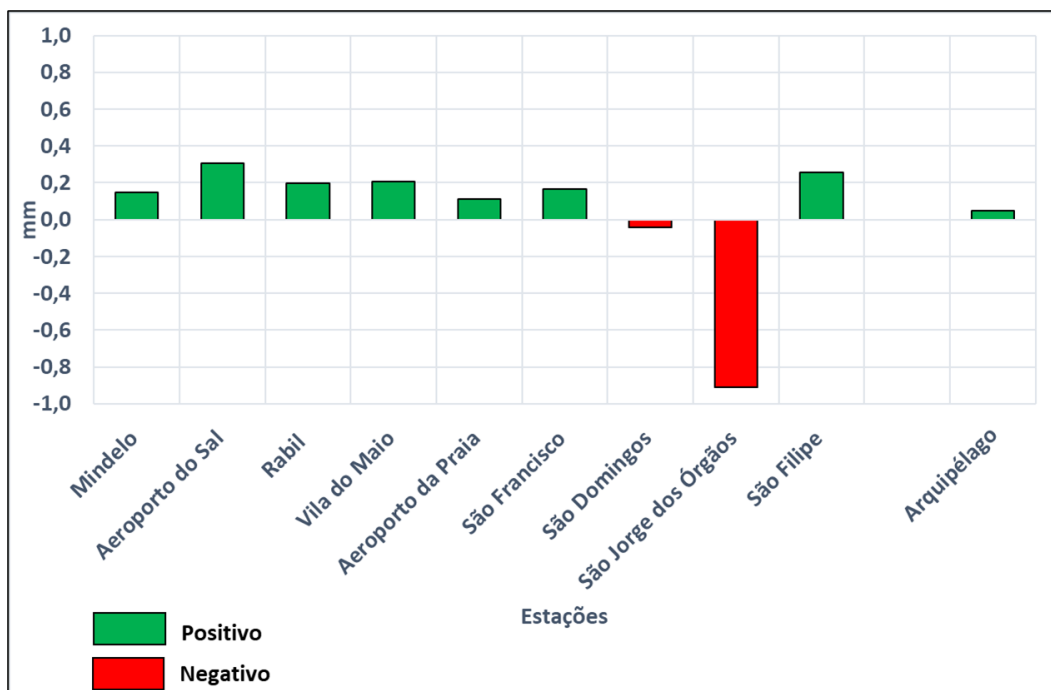


Figura 38: Erro médio da precipitação diária estimada, em cada estação, no período 2014-2018. **Fonte:** INMG (observada) e NASA (estimada). Elaboração própria.

5.2.3.2. Índice de eficiência de Kling–Gupta (KGE) das precipitações diárias estimadas

No que diz respeito à correlação de Pearson (r), para a sua análise, vai-se usar a classificação feita no **subcapítulo 5.2.2.2.**, ou seja, correlação muito fraca $[0, 0,20]$, correlação fraca $]0,20, 0,40]$, correlação moderada $]0,40, 0,60]$, correlação forte $]0,60, 0,80]$ e correlação muito forte $]0,80, 1]$. Todas as estações têm correlação fraca $]0,20, 0,40]$ tanto para os dados da precipitação diária, como para a precipitação diária na estação chuvosa, com exceção de duas estações (Rabil e Vila do Maio), que têm correlação moderada $]0,40, 0,60]$ para os dados da precipitação diária e precipitação diária na estação chuvosa.

Relativamente ao viés (β), no geral, as estimações nos dados da precipitação diária na estação chuvosa apresentam melhores resultados que nos dados precipitação diária no seu todo. Três estações (Aeroporto da Praia, São Francisco e São Domingos) apresentam melhores resultados, com leves sobrestimações e subestimações da precipitação,

sempre próximo do ótimo. As estações de São Jorge dos Órgãos e Aeroporto do Sal apresentam os piores resultados, no primeiro apresentando subestimação da precipitação, e no segundo, sobrestimação. A estação de Mindelo apresenta uma pequena subestimação da precipitação nos dados diários na estação chuvosa e uma ligeira sobrestimação da precipitação nos dados diários. As restantes estações não citadas apresentam sobrestimação da precipitação, sendo mais grave (exagerada) no caso das precipitações diárias no seu todo.

Em relação ao rácio de variabilidade, todas as estações, com exceção de duas (São Domingos e São Jorge dos Órgãos), apresentam valores inferiores (maioria) ou igual ao ótimo, variando no intervalo [0,5, 1].

Por último, a classificação do índice KGE conforme foi explicada no **subcapítulo 5.2.2.2.**: eficiência fraca [-0,5, 0], eficiência moderada]0, 0,5] e eficiência forte]0,5, 1]. Seis estações registaram eficiência moderada tanto para a precipitação diária como para precipitação diária na estação chuvosa (Mindelo, Rabil, Vila do Maio, Aeroporto da Praia, São Francisco e São Domingos), enquanto a estação do Aeroporto do Sal registou eficiência fraca para a precipitação diária e precipitação diária na estação chuvosa. A estação de São Jorge dos Órgãos apresentou eficiência fraca para precipitação diária na estação chuvosa e eficiência moderada para precipitação diária. Por último, na estação de São Filipe verificou-se eficiência fraca para a precipitação diária e eficiência moderada para a precipitação diária na estação chuvosa (**Figura 39**).

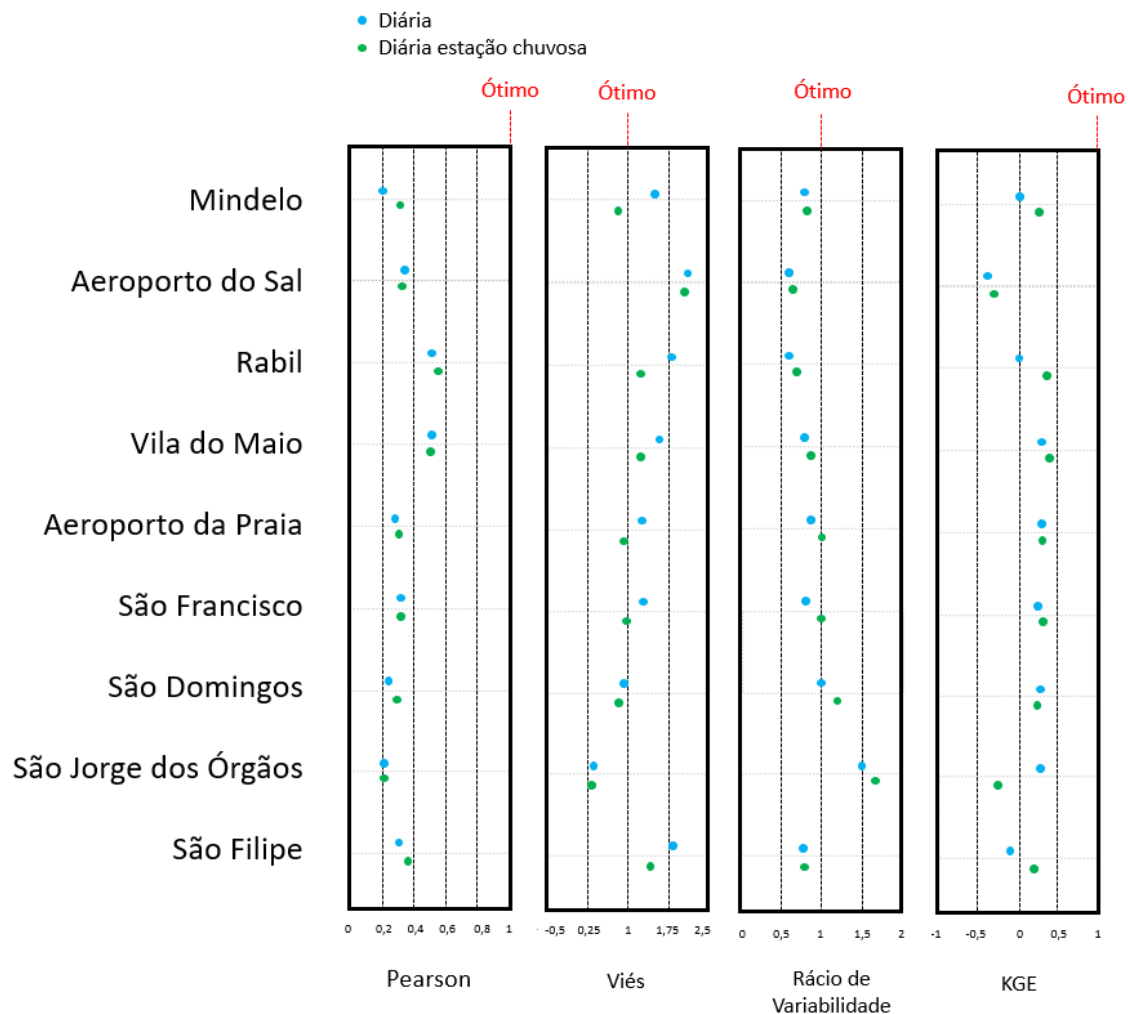


Figura 39: *Kling–Gupta Efficiency* (KGE) e os índices necessários para a sua obtenção (Pearson, viés e rácio de variabilidade) em relação à precipitação diária estimada, em cada estação, no período 2014-2018. **Fonte:** INMG (observada) e NASA (estimada).
Elaboração própria.

5.2.3.3. *Heidke Skill Score* (HSS) diária

Os valores do HSS variam de $-\infty$ a 1, sendo 1 a pontuação perfeita (ótimo), de acordo com Satgé *et al.* (2020). Tan *et al.* (2016) dividem a pontuação em duas categorias, quando $HSS < 0$ aquela é insignificante e quando $(HSS > 0)$ a pontuação é significativa.

Assim, como todos os valores obtidos com HSS com os dados diários e diários na estação chuvosa são maiores do que zero, ou seja, significantes, e baseando-nos na pontuação

sugerida por Tan *et al.* (2016), irão ser consideradas cinco classes para melhor classificar os resultados, sendo elas: pontuação significativa muito fraca]0, 0,20], pontuação significativa fraca]0,20, 0,40], pontuação significativa moderada]0,40, 0,60], pontuação significativa forte]0,60, 0,80] e pontuação significativa muito forte]0,80, 1].

Desta forma, todas as estações têm pontuação significante fraca em relação à estimação da precipitação diária e diária na estação chuvosa, com exceção de Mindelo e São Francisco, em que, no primeiro caso, a pontuação foi significativa muito fraca na precipitação diária e pontuação significativa fraca na precipitação diária na estação chuvosa e, no último caso, pontuação significativa fraca na precipitação diária e pontuação significativa moderada na precipitação diária na estação chuvosa (**Figura 40**).

De frisar que nenhuma estação registou as pontuações significativa forte e significativa muito forte.

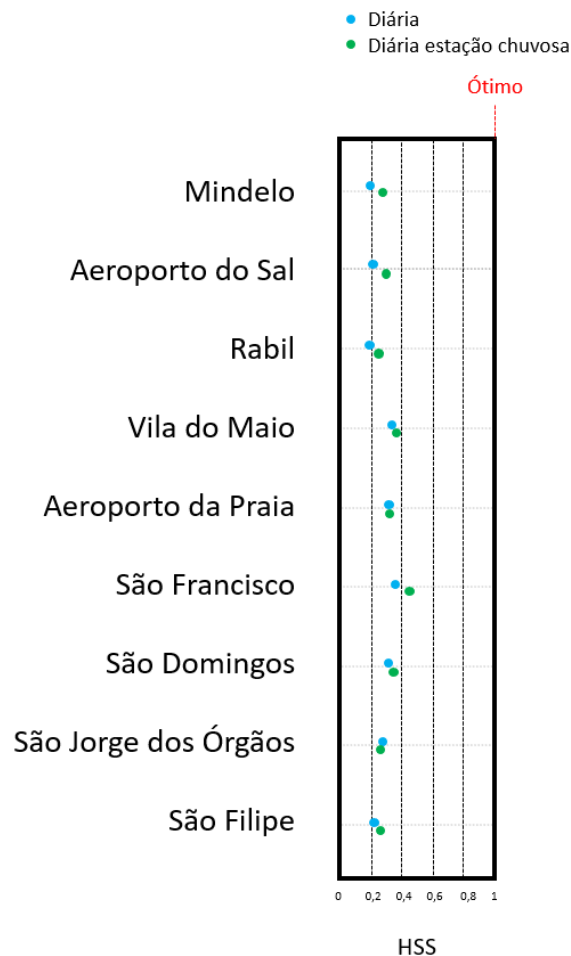


Figura 40: Heidke Skill Score (HSS) da precipitação estimada diária em cada estação, no período 2014-2018. **Fonte:** INMG (observada) e NASA (estimada). Elaboração própria.

5.2.3.4. Gráficos de dispersão das precipitações diárias

As nuvens de pontos nos gráficos de dispersão dos valores estimados e observados de precipitação diária revelam, como se referiu no **subcapítulo 4.2.1.2.**, a direção e inclinação da reta de regressão, podendo ser vista a equação correspondente em cada um dos gráficos. Os valores do coeficiente de determinação (r^2) são bastante baixos, listando do melhor para o pior resultado: Rabil (22,7%), Vila do Maio (22,2%), Aeroporto do Sal (11,4), São Francisco (9,3%), São Filipe (8,8%), Aeroporto da Praia (7,5%), São Domingos (6,8%), São Jorge dos Órgãos (4,6%) e Mindelo (3,4%); estes valores percentuais muito baixos são explicados por nuvens de pontos correspondentes aos valores da precipitação estimada e observada, que estão ligadas as três situações

seguintes - falhas, falsos alarmes e sucessos - podendo todas estas ocorrências ser vistas na **Figura 41** e na **Figura 42**. Os gráficos da dispersão diária revelam uma pior qualidade das estimativas das mostradas nos gráficos de dispersão dos dados mensais. Naturalmente, à escala diária a análise é mais robusta, uma vez que integra um total de 1826 dias, no período de estudo (2014-2018), número de unidades de análise muito superior aos 60 meses que são avaliados nas estimativas mensais.

Nota: O número de ocorrências de precipitação tem unidade temporal em dia(s).

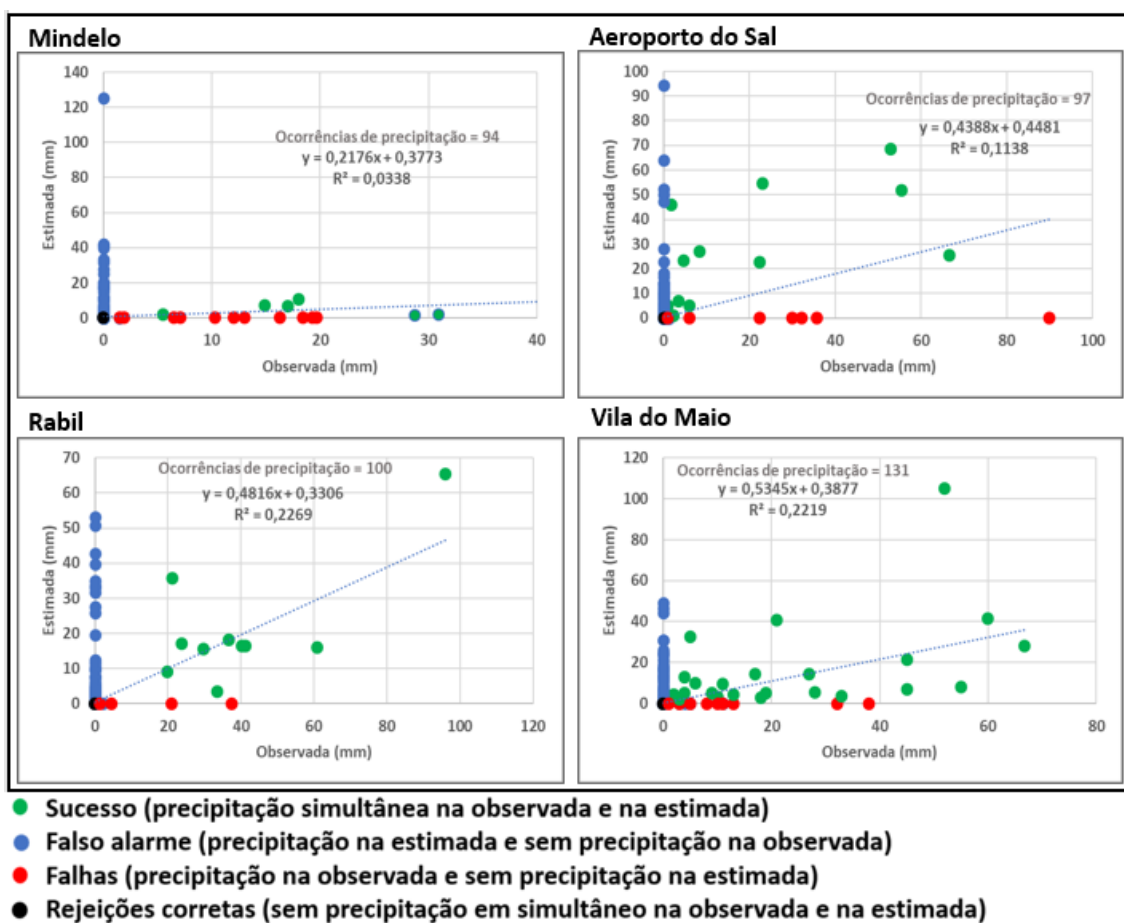
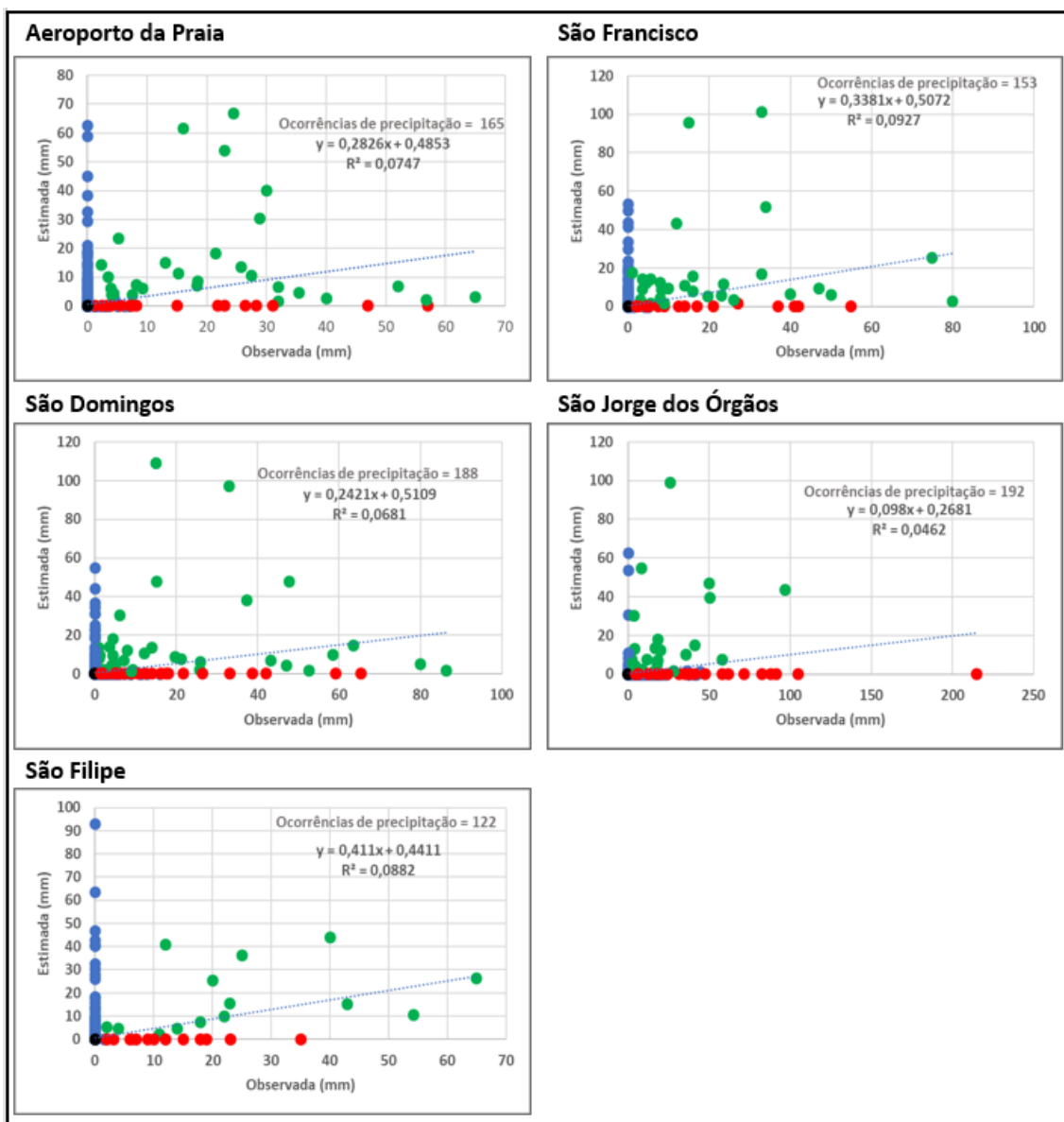


Figura 41: Dispersão dos valores de diários da precipitação observada e estimada, para cada estação, no período 2014-2018. **Fonte:** INMG (observada) e NASA (estimada).

Elaboração própria.



- Sucesso (precipitação simultânea na observada e na estimada)
- Falso alarme (precipitação na estimada e sem precipitação na observada)
- Falhas (precipitação na observada e sem precipitação na estimada)
- Rejeições corretas (sem precipitação em simultâneo na observada e na estimada)

Figura 42: Dispersão diária da precipitação observada e estimada para cada estação no período 2014-2018. **Fonte:** INMG (observada) e NASA (estimada). Elaboração própria.

Em síntese, percebeu-se na avaliação dos dados da precipitação estimada do período 2014-2018, à escala anual e mensal, que esses dados são bem aceitáveis de modo absoluto e também quando aplicados os parâmetros de associação (erro médio, KGE, HSS e gráficos de dispersão). Por outro lado, na avaliação à escala diária, mostrou-se que as discrepâncias entre valores estimados e observados são maiores, e que a percentagem de acertos é baixa, sendo que essa confiabilidade não é mesma para as várias classes da precipitação (ver **Quadro 9**), sendo melhores os resultados na estimação de precipitação extrema e pior na previsão de precipitação forte. Se se atender ao erro médio diário, o resultado é, em todo o caso, bastante bom, com uma leve sobrestimação da precipitação de apenas 0,05 mm para o conjunto do arquipélago. Os gráficos de dispersão e as medidas de pontuação e de eficiência tiveram resultados fracos para precipitação diária, sendo o erro médio diário única medida com resultado aceitável.

Quadro 9: Percentagem de acertos nas estimativas de precipitação diária (dias com ocorrência simultânea de precipitação observada e estimada) no arquipélago, no período 2014-2018, por classes de abundância de chuva. **Fonte:** NASA. Elaboração própria.

Classes de eventos	% de acertos
Precipitação fraca	7,7
Precipitação moderada	8,8
Precipitação forte	6,7
Precipitação extrema	10,8

5.3. Discussão dos resultados

As observações feitas a respeito da caracterização da precipitação observada no período 2014-2018 vão ao encontro do descrito por vários autores em diversos trabalhos. Sobressai uma forte irregularidade interanual da precipitação no arquipélago, registando-se, por vezes, grandes diferenças inter-ilhas na quantidade de precipitação observada, apesar da pequena extensão do arquipélago. A quase a totalidade da

precipitação observada no arquipélago (97,7%) registou-se nos meses da estação chuvosa, cabendo aos meses de agosto e setembro mais da metade da chuva total. O número médio anual de dias com precipitação no período de estudo é relativamente baixo na quase totalidade das estações, destacando-se a maior frequência dos tipos de precipitação fraca e moderada. Contudo, deve salientar-se o facto 15% da precipitação registada no arquipélago ocorreu em dias extremamente chuvosos ($P \geq 40$ mm).

Quanto à variação interanual da precipitação, atenda-se à **Figura 43**, onde se pode notar que o ano 2014 foi um ano relativamente seco, tanto na precipitação observada como na precipitação estimada. Ao longo dos cinco anos, a estação do Aeroporto do Sal tem, de uma forma consistente, os mais baixos valores da precipitação observada situando-se numa das ilhas menos chuvosas do arquipélago. Apesar da ligeira sobrestimação ou subestimação da precipitação, as seguintes estações demonstram o mesmo padrão, isto é, se a precipitação observada aumenta a precipitação estimada também aumenta e vice-versa, são elas: Mindelo, Rabil, Vila do Maio, Aeroporto da Praia, São Francisco, São Domingos e São Filipe; Nas duas restantes estações (Aeroporto do Sal e São Jorge dos Órgãos) verificam-se diferenças entre a precipitação estimada e a precipitação observada. Por outro lado, deve referir-se que os valores médios da precipitação observada aumentam do Norte para o Sul do Arquipélago (variação em latitude), enquanto para a precipitação estimada esse padrão não se verifica. É possível que a qualidade das estimações seja diferente nas ilhas rasas e nas ilhas montanhosas, no entanto, o reduzido número de estações de que foi possível dispor de dados diários não permitiu uma análise da influência do relevo nas estimativas. Vários autores mostraram que a altitude em Cabo Verde é um fator muito importante dos contrastes espaciais da precipitação, tais como Correia (1998a) e Nunes *et al.* (2012).

No que toca às altitudes das nove estações em estudo, elas variam de 10 a 310 metros destacando-se duas estações, São Domingos (235 metros) e São Jorge dos Órgãos (310 metros). Embora não se situem nas maiores altitudes do arquipélago, são, naturalmente as estações mais chuvosas (precipitação observada) entre as estudadas, e também as que apresentaram uma maior subestimação na precipitação estimada por satélite, o que sugere uma menor eficiência do algoritmo IMERG nas áreas montanhosas insulares. Refira-se que autores como Quedi *et al.* (2018) já apontaram que os erros das

estimações IMERG são maiores nas regiões com maior precipitação média anual. Também Tang *et al.* (2016) confirmaram que, embora os dados de IMERG captem bem a precipitação (a previsão), há espaço para melhorar este produto, principalmente nas altas latitudes e nas regiões de clima seco, o que é justamente o caso de Cabo Verde. Além dos fatores altitude, latitude já referidos, Correia (1998a), afirma que o flanco ocidental do maciço montanhoso da ilha de Santiago recebe menos precipitação, denotando a relevância do fator exposição.

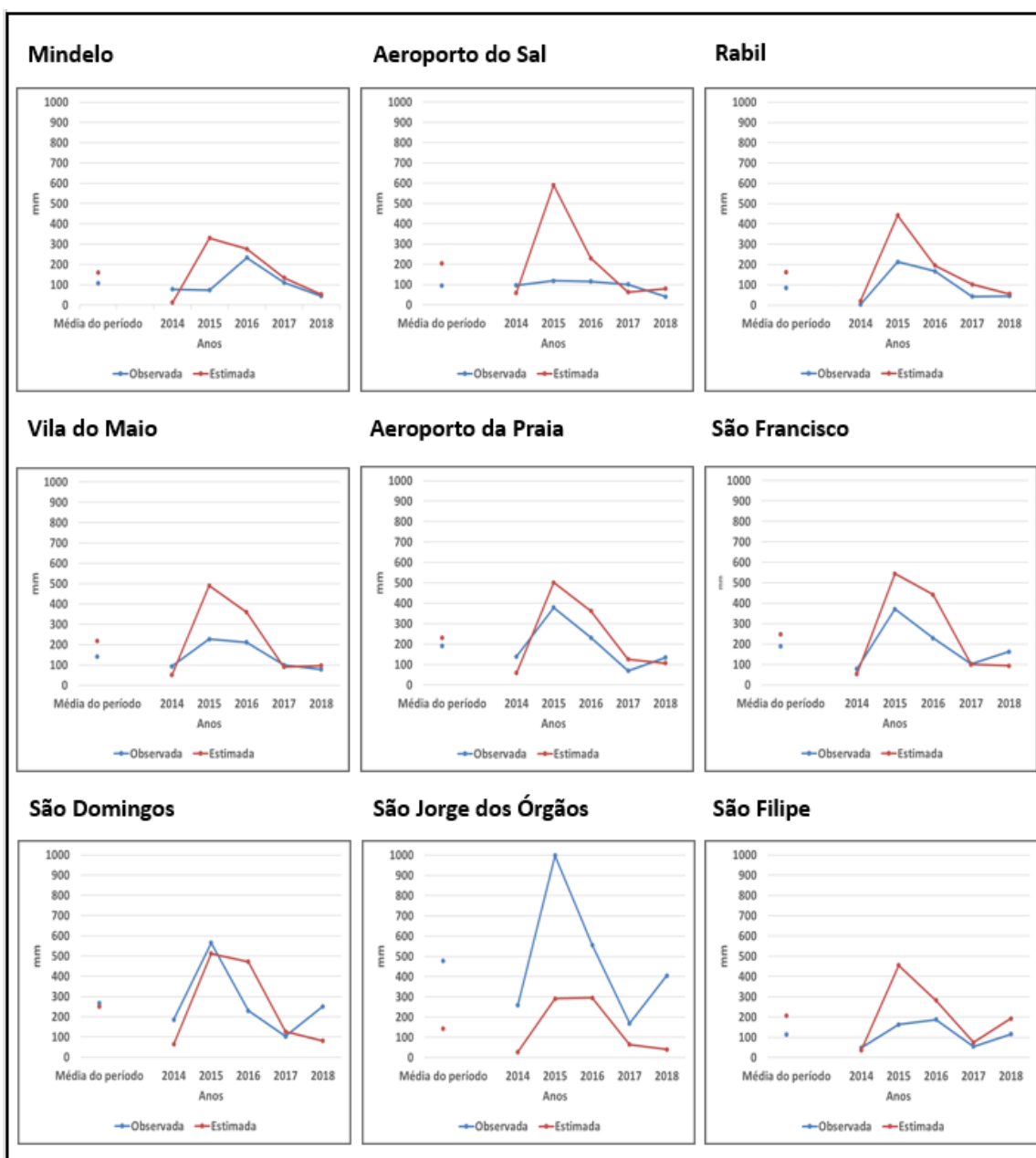


Figura 43: Variação interanual da precipitação observada e estimada para cada estação no período 2014-2018. **Fonte:** INMG (observada) e NASA (estimada). Elaboração própria.

6. Conclusão

Na presente investigação mostrou-se que a avaliação da qualidade da precipitação estimada GPM-IMERG revelou melhores resultados em relação aos dados com resolução temporal mensal e anual. Os resultados foram melhores (menos falhas) no caso dos dados estimados anuais que nos mensais. Por seu turno, as estimativas por satélite à escala mensal foram mais satisfatórias que na escala diária. Em relação a algumas medidas de erro usadas obtiveram-se melhores resultados na avaliação da qualidade das estimações considerando a estação chuvosa do que considerando todo o ano. Para o conjunto do arquipélago, os dados estimados pelo algoritmo IMERG mostraram um ligeiro erro médio, significando sobrestimação da precipitação para os dados anuais (1,5 mm), mensais (1,4 mm) e diários (0,05 mm). Para cada uma das estações, numa análise mais detalhada (diária), o erro médio obtido é bem aceitável ficando sempre no intervalo [-1, 0,4] mm.

Considerando as outras medidas de erro aplicadas, os resultados do índice KGE revelaram, no caso dos dados mensais e em relação a quase todas as estações, uma eficiência moderada ou forte das estimativas de satélite. Para os dados diários, os resultados obtidos foram piores, com níveis de eficiência moderada ou fraca. A análise visual realizada em gráficos de dispersão e a avaliação dos valores dos coeficientes de determinação forneceram indicações no mesmo sentido dos resultados obtidos com a medida KGE.

Finalmente, o indicador HSS aplicado aos valores diários estimados revelou que os mesmos são significativos (>0), embora na quase totalidade das estações com uma pontuação significativa fraca, não tendo nenhuma estação obtido uma pontuação significativa forte ou muito forte.

Em face do conjunto dos resultados alcançados na presente investigação, a utilização das estimações GPM-IMERG no território de Cabo Verde parece ser mais adequada em relação aos dados com resolução temporal mensal e anual. Assim, se o propósito for, por exemplo, o de conhecer a precipitação média (anual, mensal) verificada num dado período de estudo, os dados de estimação IMERG mostraram uma eficiência aceitável. A exploração desta informação poderá ser de grande utilidade em estudos de

climatologia e hidrologia no arquipélago, atendendo à escassez de observações pluviométricas na maior parte das ilhas. A utilização de estimativas diárias da precipitação obtidas com este produto deverá ser sempre feita com cautela e sobretudo, como informação complementar aos dados de observação disponíveis.

Note-se que a menor qualidade da estimação da precipitação IMERG identificada à escala diária poderá também explicar-se, no caso das seis estações (postos udométricos) cujos registos diários correspondem a valores acumulados entre as 9:00 do dia anterior e as 9:00 do dia indicado pela data (São Francisco, São Domingos, São Jorge dos Órgãos, São Filipe, Rabil e Vila do Maio), pelo seu desfasamento temporal em relação às estimações, que são valores acumulados períodos das 0:00 às 24:00. Reconhecendo esta limitação nos dados que foi possível recolher para esta investigação, é plausível considerar que a questão referida tenha condicionado, em certa medida, os resultados da avaliação da qualidade das estimativas IMERG à escala diária.

Esta investigação constitui um trabalho de pesquisa ao qual deverá ser dada continuidade, atendendo à reduzida densidade de estações de medição de precipitação cujos dados foi possível utilizar. Desejavelmente, a validação das precipitações estimadas por satélite no arquipélago deverá abranger um maior número de estações com observações, com uma melhor repartição pelas ilhas, e representativas de diferentes condições de altitude, afastamento ao mar e exposição à circulação dominante. A realização de um estudo baseado num período temporal mais alargado (20, 30 ou mais anos) permitirá também, seguramente, uma avaliação mais robusta da qualidade das estimações de satélite da precipitação na região de Cabo Verde.

7. Bibliografia

- Amaral, I. (2007). *Santiago de Cabo Verde. A Terra e os Homens*. Associação das Universidade de Língua Portuguesa / Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa / Instituto de Investigação Científica e Tropical / Universidade do Algarve / Universidade de Cabo Verde.
- Anjos, R. S., Nóbrega, R. S., & Candeias, A. L. B. (2017). Possíveis Causas para os erros das estimativas do satélite TRMM – Estudo de Caso na Microrregião de Itaparica-PE. *Revista Brasileira de Climatologia*, 21.
<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v21i0.53241>
- Antonio, C. A. D. A. (2007). Geoestatística aplicada à acumulação da precipitação pluviométrica com radar meteorológico. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de ciências agrônômicas, São Paulo.
- Chen, F., & Li, X. (2016). Evaluation of IMERG and TRMM 3B43 monthly precipitation products over mainland China. *Remote Sensing*, 8(6), 472.
<https://doi.org/10.3390/rs8060472>
- Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences 2nd edition Lawrence Erlbaum. *Hillsdale, NJ*.
- Collischonn, B., Allasia P. D. G., Collischonn, W., & Tucci, C. E. M. (2006, novembro). *Estimativas de precipitação por sensoriamento remoto passivo: desempenho do satélite TRMM na bacia do alto Paraguai até Descalvados*. *Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande*.
- Correia, E. (1993). Condições climáticas para o turismo balnear em Santiago (Cabo Verde): aplicação de duas classificações. *Garcia de Orta, Série de Geografia*, 1-2.
- Correia, E. (1998a). *Condições pluviométricas para a cultura do milho na ilha de Santiago (Cabo Verde)*. Dissertação de mestrado, Ministério da Ciência e da Tecnologia & Instituto de Investigação Científica Tropical, Lisboa.

- Correia, E. (1998b). Sobre a Variabilidade da Precipitação e o Tempo das Águas em Cabo Verde. *Garcia de Orta, Série de Geografia*, 16, 49-61.
- DGA (2004). *Livro Branco sobre o Estado do Ambiente em Cabo Verde*. Cabo Verde, Ministério do Ambiente Agricultura e Pescas.
- Fragoso, M. (1996). A utilização das imagens de radar meteorológico em climatologia. *Finisterra*, 31(61).
- Franco, A. C. L., Oliveira, D., & Bonumá, N. B. (2017). *Transferência Espaço-temporal de Parâmetros no Modelo SWAT*. XXII Simpósio Brasileiro, Santa Catarina.
- Gadêlha, A. N. (2018). *Análise da missão GPM (Global Precipitation Measurement) na estimativa da precipitação sobre território brasileiro*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Paraíba – Centro de Tecnologia, Paraíba.
- Gaona, M. R., Overeem, A., Leijnse, H., & Uijlenhoet, R. (2016). First-year evaluation of GPM rainfall over the Netherlands: IMERG day 1 final run (V03D). *Journal of Hydrometeorology*, 17(11), 2799-2814.
<https://doi.org/10.1175/JHM-D-16-0087.1>
- Greco, M., & Bolvin, D. T. (2018). The tropical rainfall measuring mission. In *Remote Sensing of Clouds and Precipitation* (pp. 155-174). Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-72583-3_6
- Hou, A. Y., Kakar, R. K., Neeck, S., Azarbarzin, A. A., Kummerow, C. D., Kojima, M., ... & Iguchi, T. (2014). The global precipitation measurement mission. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(5), 701-722.
<https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00164.1>
- Huang, W. R., Chang, Y. H., & Liu, P. Y. (2018). Assessment of IMERG precipitation over Taiwan at multiple timescales. *Atmospheric Research*, 214, 239-249.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.08.004>

- Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Braithwaite, D., Hsu, K., Joyce, R., Xie, P., & Yoo, S. H. (2015). NASA global precipitation measurement (GPM) integrated multi-satellite retrievals for GPM (IMERG). Algorithm theoretical basis document, version, 4, 30.
- INE (2010). Apresentação de dados preliminares do IVº RGPB 2010.
- INMG (2007, dezembro). *Programa de Ação Nacional de Adaptação às Mudanças Climáticas*. Convenção Quadro sobre as Mudanças Climáticas, Cabo Verde.
- INMG (2019). Normais Climatológicas. Disponível em:
<http://www.inmg.gov.cv/index.php/servicos/servicos-climaticos>. Acesso em: 12 de novembro de 2020.
- Kummerow, C., Simpson, J., Thiele, O., Barnes, W., Chang, A. T. C., Stocker, E., ... & Ashcroft, P. (2000). The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after two years in orbit. *Journal of applied meteorology*, 39(12), 1965-1982.
[https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)040<1965:TSOTTR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040<1965:TSOTTR>2.0.CO;2)
- Li, N., Tang, G., Zhao, P., Hong, Y., Gou, Y., & Yang, K. (2017). Statistical assessment and hydrological utility of the latest multi-satellite precipitation analysis IMERG in Ganjiang River basin. *Atmospheric research*, 183, 212-223.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.07.020>
- Lima, I. P. (2012). *Inundações urbanas: desafios ao ordenamento do território. O caso da cidade da praia (Cabo Verde)*. Dissertação de mestrado, Universidade de Lisboa – Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Lisboa.
- Luz, J. E. (2016). *Tecnologias de Informação Geográfica no estudo de cheias/inundações e movimentos de massas: o caso da Ilha de São Vicente, Cabo Verde*. Dissertação de mestrado, Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de ciências sociais e humanas, Lisboa.
- Martins, C. C. S. S. (2017). *Impacte das alterações climáticas no regime hidrológico da Ilha de Santiago e consequências na rede de drenagem local*. Dissertação de

mestrado, Universidade de Coimbra – Departamento de engenharia civil, Coimbra.

Monteiro, S., & Cunha, L. (2011). Cheias rápidas em Cabo Verde. Um breve apontamento acerca das tempestades de setembro de 2009 na Ilha de S. Nicolau. *Iberografias*, 17, 177-189.

NASA (2018). National Aeronautics And Space Administration. Disponível em: <http://trmm.gsfc.nasa.gov>. Acesso em: 12 de novembro de 2020.

NASA (2019). National Aeronautics And Space Administration. Disponível em: https://www.nasa.gov/mission_pages/GPM/main/index.html. Acesso em: 12 de novembro de 2020.

Neves, J., da Silva, V. D. P. R., Almeida, R. S. R., de Sousa, F. D. A. S., & da Silva, B. B. (2017). Aspectos gerais do clima do arquipélago de Cabo Verde. *Ambiência Guarapuava* (PR), 13(1), 59-73.

Nicolete, D. A. P., Romagnoli, I., & Zimback, C. R. L. (2017, novembro). *Avaliação dos dados de precipitação pluviométrica obtidos pela constelação GMP para a bacia do rio Tietê-SP*. Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Expositocarta, Rio de Janeiro.

Nunes, M. D. C., Costa, F. L., & de Sousa, A. J. (2012, junho). *Distribuição espaço-temporal da precipitação na fachada oriental da ilha de Santiago (Cabo Verde)*. Atas do colóquio internacional Cabo Verde e Guiné-Bissau: percursos do saber e da ciência, Lisboa.

Passow, M. J. (2010). TRMM-Tropical Rainfall Measuring Mission: Bringing remote sensing of precipitation into your classroom. *Terræ Didática*, 6(1), 03-08.

<https://doi.org/10.20396/td.v6i1.8637477>

Quedi, E. S., Campos, J. A., & Fan, F. M. (2018, novembro). *Validação de dados do Global Precipitation Mission (GPM) com observações in situ na bacia do Rio São Francisco*. Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Anais do XIV SRHNE, Porto Alegre.

- Rebelo, F. (1999). Riscos de inundação rápida em Cabo Verde. Apontamentos de observação numa breve visita à Praia e ao Mindelo em junho de 1999. *Finisterra*, 34(67/68).
- Santos, C. A. B. D. (2016). *Cartografia da perigosidade e suscetibilidade de ocorrência de seca em Cabo Verde a partir de informação obtida por detecção remota*. Dissertação de mestrado, Universidade de Lisboa – Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Lisboa.
- Satgé, F., Defrance, D., Sultan, B., Bonnet, M. P., Seyler, F., Rouché, N., ... & Paturel, J. E. (2020). Evaluation of 23 gridded precipitation datasets across West Africa. *Journal of Hydrology*, 581, 124412.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124412>
- Skofronick-Jackson, G., Petersen, W. A., Berg, W., Kidd, C., Stocker, E. F., Kirschbaum, D. B., ... & Kirstetter, P. E. (2017). The global precipitation measurement (GPM) mission for science and society. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(8), 1679-1695. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00306.1>
- Skofronick-Jackson, G., Berg, W., Kidd, C., Kirschbaum, D. B., Petersen, W. A., Huffman, G. J., & Takayabu, Y. N. (2018). Global precipitation measurement (GPM): Unified precipitation estimation from space. In *Remote Sensing of Clouds and Precipitation* (pp. 175-193). Springer, Cham.
<https://www.doi.org/10.1007%2F978-3-319-72583-3>
- Sungmin, O., Foelsche, U., Kirchengast, G., Fuchsberger, J., Tan, J., & Petersen, W. A. (2017). Evaluation of GPM IMERG Early, Late, and Final rainfall estimates using WegenerNet gauge data in southeastern Austria. *Hydrology & Earth System Sciences*, 21(12).
<https://doi.org/10.5194/hess-21-6559-2017>
- Tan, M. L., & Santo, H. (2018). Comparison of GPM IMERG, TMPA 3B42 and PERSIANN-CDR satellite precipitation products over Malaysia. *Atmospheric research*, 202, 63-76. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.11.006>

- Tan, J., Petersen, W. A., & Tokay, A. (2016). A novel approach to identify sources of errors in IMERG for GPM ground validation. *Journal of Hydrometeorology*, 17(9), 2477-2491.
<https://doi.org/10.1175/JHM-D-16-0079.1>
- Tang, G., Ma, Y., Long, D., Zhong, L., & Hong, Y. (2016). Evaluation of GPM Day-1 IMERG and TMPA Version-7 legacy products over Mainland China at multiple spatiotemporal scales. *Journal of hydrology*, 533, 152-167.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.12.008>
- Ventura, J.E. (2009, julho). *A problemática dos recursos hídricos em Santiago*. 1º Congresso de desenvolvimento regional de Cabo Verde, Praia.
- Xu, R., Tian, F., Yang, L., Hu, H., Lu, H., & Hou, A. (2017). Ground validation of GPM IMERG and TRMM 3B42V7 rainfall products over southern Tibetan Plateau based on a high-density rain gauge network. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(2), 910-924. <https://doi.org/10.1002/2016JD025418>
- Zambrano-Bigiarini, M., Nauditt, A., Birkel, C., Verbist, K., & Ribbe, L. (2017). Temporal and spatial evaluation of satellite-based rainfall estimates across the complex topographical and climatic gradients of Chile. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(2), 1295. <https://doi.org/10.5194/hess-21-1295-2017>